

A. Hydr.
38.

A. Hydr. 738

Le Chatelier

Denkschrift

über die Anwendung des

Gegendampfes bei Locomotiven

von

L. Le Chatelier,

Ober-Ingenieur des kais. französischen Bergwerks-Corps in Paris.

Ins Deutsche übersetzt von

August Bochkoltz,

General-Inspector der k. k. priv. österr. Staatseisenbahn-Gesellschaft in Wien.

MIT ZWEI FIGUREN-TAFELN.

WIEN.

Verlag von L. W. Seidel & Sohn.

1869.

DEKSKCHRIET

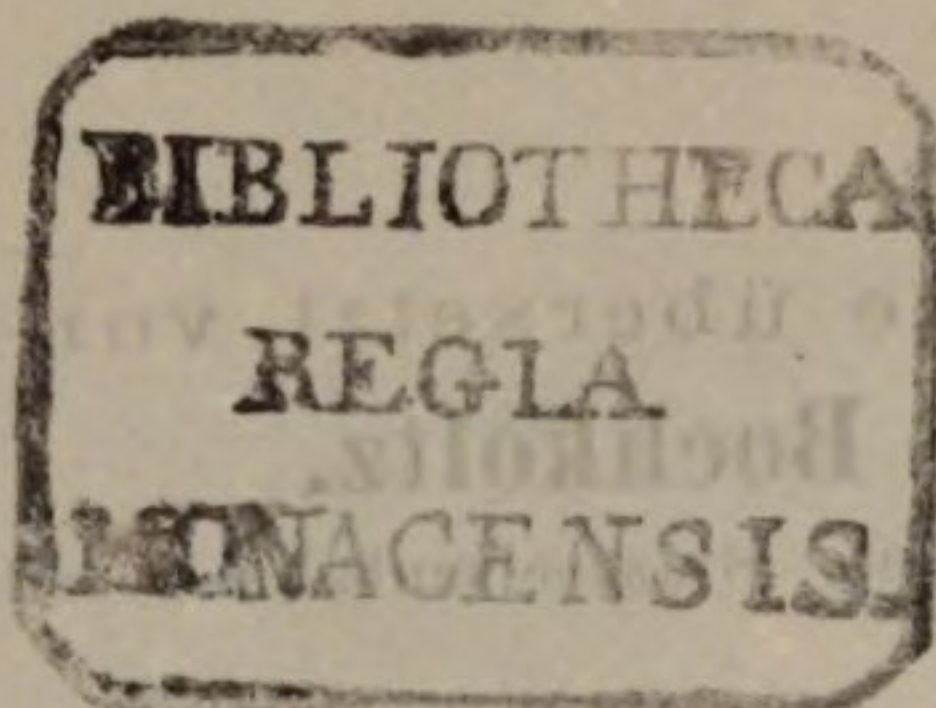
über die Anwendung des

Gegendampfer bei Locomotiven

von

L. Le Chatelier,

Ober-Ingenieur des kais. französischen Bergwerks-Corps in Paris.



MIT ZWEI FIGUREN-TAFELN

WIEN

Verlag von L. W. Seidel & Sohn.

1869

Vorwort.

Die Untersuchungen, welche zu dem neuen, in der vorliegenden Denkschrift besprochenen Systeme der Anwendung des Gegendampfes geführt haben, hatten als Ausgangspunkt die mittelst comprimierter Luft wirkende Bremse des Herrn von Bergue, womit auf verschiedenen französischen Eisenbahnlinien Versuche angestellt worden sind.

Ich hatte einestheils über die Möglichkeit, ein derartiges System auf etwas längeren zu durchlaufenden Strecken und für grössere Lasten anzuwenden, Zweifel erhoben, anderentheils die Ansicht ausgesprochen, dass von dem Tage an, wo man die Ursache der durch die Umkehrung des Dampfes dargebotenen Nachtheile ernstlich studiren wollte, man derselben ohne grosse Schwierigkeit Abhülfe schaffen würde.

Der Umstand, dass ich die oberste Leitung einer Eisenbahn in Spanien hatte, welche sehr lange und stark geneigte Gefälle darbietet, kam mir zu Statten, und ich begann am 28. Juli 1865 damit, eine Reihe von Versuchen vornehmen zu lassen, um diese wichtige Frage einer Lösung entgegen zu führen; der erste Versuch, welcher am 28. und 30. August 1865 auf der Strecke der spanischen Nordbahn zwischen Avila und Madrid stattfand, hatte deutlich gezeigt, dass das System des Herrn von Bergue im gewöhnlichen Dienste nicht anwendbar sei.

In einem vom 19. September 1865 datirten Schreiben habe ich das Programm derjenigen Versuche aufgestellt, welche mir geeignet schienen, um die Schwierigkeiten bei Anwendung des gewöhnlichen Gegendampfes zu beseitigen, auf welche letzteren man zurückkommen musste, sobald man das Princip des Herrn von Bergue, zufolge welchem Luft angesaugt und in einen speciellen Behälter zurückgedrängt wird, aufgeben musste.

Mein System bestand darin, mittelst eines Rohres von geringem Durchmesser, welches mit einem, dem Maschinisten zur Hand stehenden Hahn versehen wäre, einen Dampfstrahl nach dem untern Theile des Dampf-Ausströmungsrohres hinzuleiten, und zwar entweder nur theilweise, um diesen Dampf mit den anzusaugenden Gasen zu vermengen, oder aber im Uebermaasse, so dass er zum Schornstein hinaus entweicht, um diese Gase vollständig auszuschliessen. — Die Erfahrung, so wie die Theorie, auf welche man sich zur Erklärung der erhaltenen Resultate stützte, haben den Beweis geliefert, dass, indem ich unterstellte, dass der Dampf ebenso wie beim Vorwärtsarbeiten der Maschine Wasser mit sich führe, und dass er, indem er sich beim Austritt aus dem Kessel ausdehnt, sich theilweise condensire, ich mich hierin geirrt hatte; ich hatte nämlich gehofft, dass er eine genügende Menge mitgeführten Wassers in die Cylinder bringe, um durch dessen Verdampfung die Wärme zu absorbiren, welche durch die Compression der elastischen Flüssigkeiten und durch deren Zurückdrängung in den Kessel frei wird.

Ich hatte jedoch ausserdem vorhergesehen, dass man statt des Dampfes vielleicht eine Einspritzung von Wasser in das Ausströmungsrohr in Anwendung bringen müsse, um das zur Abkühlung erforderliche Wasserquantum mit um so grösserer Sicherheit in die Cylinder gelangen zu lassen. Später, am 21. Februar 1866, habe ich diesen Gedanken weiter entwickelt und angegeben, dass die Wassereinspritzung ihren Ursprung im Kessel haben müsse; ich habe hervorgehoben, dass dieser Combination, welche schliesslich die Frage in rationeller und practischer Weise löst, der Vorzug gebühre.

Der Ingenieur, welcher den Auftrag erhalten hatte, die Versuche vorzunehmen, zu welchen ich das Programm aufgestellt hatte, hat, statt sie in vierzehn Tagen oder drei Wochen auszuführen, welche Zeit reichlich genügt hätte, in Folge von Umständen, deren Erwähnung hier von keinem besonderen Interesse wäre, dieselben mehr als sechs Monate lang, nämlich bis zum 24. März 1866, dauern machen, und nachdem er zu einem ersten befriedigenden Resultate gelangt war, hat er sich durch eine sehr gelehrte, jedoch sehr unrichtige Theorie leiten lassen, welche ihn wieder umkehren gemacht und ihn an einem practischen Erfolg verhindert haben.

Der Zweck ist ohne seine Dazwischenkunft in Frankreich durch erfahrene und vorurtheilsfreie Ingenieure erreicht worden, und zwar

in erster Linie durch Herrn Marié, Ober-Ingenieur der Eisenbahn von Paris nach Lyon und dem mittelländischen Meere, welcher schon zu Anfang des Jahres 1867 in der Lage war, das neue System des Gegendampfes auf einer ersten Serie von 450 Maschinen in Anwendung zu bringen.

Als ich mich zu Ende des Jahres 1868 der dienstlichen Geschäfte entledigt hatte, welche mich im Jahre 1865 verhindert hatten, die Versuche, deren Princip und Ausführungsart ich festgestellt hatte, selbst auszuführen und später die practische Durchführung genau zu verfolgen, wollte ich mir Rechenschaft über das geben, was bereits geschehen war oder in der von mir angegebenen Richtung noch zu thun erübrige; ich habe daher eine Reihe von Versuchen angestellt, welche gleich vom ersten Tage an bewiesen, dass ich den Nagel auf den Kopf getroffen hatte, als ich eine Einspritzung von Wasser allein, statt von Dampf, vorschlug und später anempfahl.

Ich erwähne diese Einzelheiten, weil Herr Ricour, der Ingenieur, welcher in Spanien als Mittelsbeamter des Dienstes, dessen Direction ich in Paris versah, mit der Ausführung meines Programmes beauftragt worden war, zu wiederholten Malen und noch in der letzten Zeit den Anspruch erhoben hat, der Erfinder einer Verbesserung zu sein, zu welcher er keinerlei nützlichen Beitrag geliefert und welche er im Gegentheile durch seine anfängliche Indifferenz, seine theoretischen Irrthümer und seine practischen Fehler bei der Anwendung beeinträchtigt hat.

Diese im Grunde nicht zu rechtfertigende, und wegen der Art und der zur Geltendmachung angewandten Mittel, tadelnswerthe Anmassung hat einen grossen Widerhall gehabt, und es war nöthig, sie in's richtige Licht zu stellen.

Die vorliegende Denkschrift enthält das Wesentlichste zweier Abhandlungen, welche ich in Frankreich veröffentlicht habe, mit Weglassung aller mühsamen Versuche, welche diese so einfache Neuerung in Folge der unheilvollen Dazwischenkunft des Herrn Ricour durchmachen musste. Seit der Verfassung einer speciellen Abhandlung, welche ich für Deutschland und England vorbereitet hatte, ist eine ziemlich geraume Zeit verstrichen. Diese Zwischenzeit hat nur die Richtigkeit meiner Ansichten bezüglich des dem alleinigen Wasser vor einem Gemenge von Wasser und Dampf zu gebenden Vorzuges bestätigt. Seit dem letzten Monate Februar wird diese Art der Einspritzung mit vollständigem Erfolge und in exclusiver Weise auf dem

Orléans-Eisenbahnnetze angewandt, welches die Gebirge der Auvergne mit Gefällen und Gegengefällen von 30 Millimeter pro Meter überschreitet; sie ist auf der spanischen Nordbahn eingeführt, wo sie allen, durch die Combinationen des Herrn Ricour hervorgerufenen Schwierigkeiten ein Ziel gesetzt hat; sie wird auf der Brennerbahn mit Erfolg angewandt und es steht ohne Zweifel zu erwarten, dass sie in kurzer Zeit unter einer oder der andern Form ganz allgemein in Gebrauch kommen wird.

Schliesslich verfehle ich nicht, meinen Freunden, dem Herrn Leopold Bresson, Generaldirector, und dem Herrn Hofrath Ritter von Engerth, Generaldirector-Stellvertreter der österreichischen Staatseisenbahn-Gesellschaft, welche die Herausgabe der vorliegenden Schrift unter ihren Schutz nahmen, meinen wärmsten Dank auszusprechen, sowie nicht minder dem Herrn August Bochkoltz, welcher, indem er die Uebersetzung in's Deutsche übernahm, sich gerne bereit fand, seine gründliche Kenntniss der beiden Sprachen und seine grosse Erfahrung in der industriellen Mechanik, zu welcher er selbst kürzlich einen werthvollen Beitrag geliefert hat, zu meiner Verfügung zu stellen.

Paris, den 15. August 1869.

L. Le Chatelier.

Inhalt.

	Seite
Vorwort	I
Gegenstand der Denkschrift	1
Umkehrung des Dampfes	3
§. 1. Directe Dampfadmission	4
§. 2. Umgekehrte Dampfadmission	6
§. 3. Erwärmungs-Wirkungen	8
§. 4. Plötzlicher Rückschlag des Steuerungshebels	10
Anwendung des Gegendampfes	
§. 1. Zweck und Vortheile des neuen Systems	12
§. 2. Einspritzung von Wasser	16
§. 3. Wirkungen der Wassereinspritzung	18
§. 4. Einspritzung von Wasser und Dampf	27
Mechanische Ausführung	33
Verschiedene Fragen	
§. 1. Wärmegewinn	47
§. 2. Practische Berechnung der Einspritzungen	50
§. 3. Grenze der Arbeit des Gegendampfes	53
§. 4. Wirkungen des Gegendampfes in Curven	60
§. 5. Gang mit geschlossenem Regulator	64
Nachtrag	67

Inhalt

1	Vorwort
1	Gegenstand der Denkschrift
3	Umriss des Dampfes
4	§ 1. Direkte Dampfabtastion
6	§ 2. Umgekehrte Dampfabtastion
8	§ 3. Erwärmungs-Wirkungen
10	§ 4. Flötzlicher Rückschlag des Steuerungshebels
	Anwendung des Gegenampfes
12	§ 1. Zweck und Vortheile des neuen Systems
16	§ 2. Einspritzung von Wasser
18	§ 3. Wirkungen der Wassereinspritzung
22	§ 4. Einspritzung von Wasser und Dampf
23	Mechanische Ausführung
	Verschiedene Fragen
47	§ 1. Wärmegewinn
50	§ 2. Practische Berechnung der Einspritzungen
53	§ 3. Grenze der Arbeit des Gegenampfes
60	§ 4. Wirkungen des Gegenampfes in Curven
64	§ 5. Gang mit geschlossenem Regulator
67	Nachtrag

Gegenstand der Denkschrift.

Es dürfte Jedermann bekannt sein, worin die Reversirung des Dampfes bei Locomotiv-Maschinen besteht, oder vielleicht richtiger gesagt, es dürfte Niemandem das schwierige und oft gefährliche Auskunftsmittel unbekannt geblieben sein, zu welchem der Locomotivführer im Falle drohender Gefahr greift. Dasselbe besteht darin, dass der Maschinenführer, wenn der Zug nach Vorwärts in Bewegung ist, den Steuerungs- oder Reversirhebel plötzlich in die entgegengesetzte Stellung bringt, so zwar, dass die Bewegung der Schieber nicht mehr mit der der Kolben und Treibachsen in Einklang steht; der widersinnig in die Cylinder einströmende Dampf erzeugt dann eine Widerstandswirkung, welche, wenn der Zug sich auf einer horizontalen Strecke bewegt, dessen lebendige Kraft sehr bald aufhebt, oder, wenn er auf einer geneigten Strecke abwärts fährt, der beschleunigenden Kraft der Schwere das Gleichgewicht hält.

Es ist allen Fachleuten bekannt, dass die Reversirung des Dampfes eine bedeutende Wärme-Entwicklung in den Cylindern hervorbringt, welche eine rasche Erhitzung der Metallmassen, die Zerstörung der Dichtungen, die Zersetzung der Schmiere und eine rasche Abnützung der reibenden Flächen zur Folge hat.

Um diesem, beinahe sofort bis zur Unmöglichkeit sich steigern den Uebelstande abzuhelpen, genügt es, durch eine Oeffnung von nur einigen Quadratmillimetern Querschnitt einen feinen, dem Dampfkessel entnommenen Wasserstrahl in den untern Theil des Abblaserohrs, nahe an den Cylindern, einzuführen; dieses heisse Wasser, dessen Temperatur dem Dampfdrucke im Kessel entspricht, gelangt zum Sieden, sobald es einem geringeren Drucke, nämlich dem der äussern Atmosphäre, ausgesetzt ist,

und erfüllt dann das Abblaserohr mit einer Art von Wasserstaub oder von nassem Nebel, welcher durch die Kolbenbewegung in die Cylinder eingesogen wird; sobald die in der Schwebe gehaltenen Wassertheilchen mit den Metallmassen der Cylinder, der Kolben etc in Berührung kommen, verwandeln sie sich in Dampf; sie kühlen dieselben ab und verhüten die Erhitzungserscheinungen, welche die Anwendung des Gegendampfes sonst herbeiführt; wenn überdies die Wasserinjection gross genug ist, so genügt der hierdurch entwickelte Dampf, um die Cylinder ganz damit zu erfüllen und um ausserdem eine Dampfausströmung durch das Abblaserohr zu bewirken, so dass keinerlei Verbrennungsgase weder in die Cylinder, noch in den Kessel gelangen können, und dass die zur Kesselspeisung dienenden Giffard'schen Dampfstrahlpumpen keinerlei Störung unterworfen werden.

Das eingespritzte Wasser kann zum Theil durch Dampf ersetzt werden, welcher direct vom Kessel entnommen und durch ein Zweigrohr in das Wasserzuleitungsrohr zugeführt wird; diese Substitution darf jedoch nur sparsam geschehen, wenn die Gegendampf-Admission, um sofort eine grosse Widerstandskraft zu erzeugen oder um die Geschwindigkeit eines schweren Zuges in starkem Gefälle zu mässigen, während des grössten Theiles des Hubes erfolgt. — Der Dampf vermischt sich auf's vollkommenste mit dem eingespritzten Wasser und reisst dieses sogar, wenn es im Ueberschusse ist, mit durch den Schornstein und verhindert es, die ihm zugedachte Function in den Cylindern zu erfüllen. Diese Substitution, welche niemals nöthig ist, kann jedoch unter gewissen Umständen zur Erfüllung gewisser Nebenbedingungen von Nutzen sein.

Der ganze Mechanismus, wie er zur Darstellung des Gegendampf-Systemes erforderlich ist, beschränkt sich auf ein Rohr von 25 bis 30 Millimeter Durchmesser und auf einen Absperrhahn; will man auch Dampf mitzutreten lassen, so ist noch ein zweiter Hahn und ein kurzes Zweigrohr hinzuzufügen.

Die Theorie des Verfahrens, wenn man eine so einfache Combination mit diesem anspruchsvollen Namen bezeichnen darf, beruht auf der Umwandlung der effectiven lebendigen Kraft des aufzuhaltenden Zuges, oder der wirklichen, durch eine gewisse Anzahl von Kilogramm-Metern dargestellten Arbeit der Schwere beim Hinabfahren auf einem Gefälle, in eine äquivalente Anzahl von Wärmeeinheiten. Ein Theil der entwickelten Wärme entweicht mit dem durch den Schornstein ausströmenden Dampfe und geht verloren; der übrige Theil derselben dient dazu, die Cylinder

und den Kessel in der gehörigen Temperatur zu erhalten und stellt in Wirklichkeit einen Wärmegewinn dar.

Ich beabsichtige nun in dieser Denkschrift die vorstehenden Andeutungen weiter zu entwickeln, auf alle die Eigenthümlichkeiten, welche die Anwendung des Gegendampfes darbietet, aufmerksam zu machen, und die bereits gemachten Anwendungen, sowie die Dienste, welche man von dieser neuen Benützungsweise der Locomotiv-Maschinen erwarten kann, bekannt zu geben.

Umkehrung des Dampfes.

Um die Wirkungsweise des Gegendampfes, im Gegensatze zu dem in der Bewegungsrichtung wirkenden Dampfe, verständlich zu machen, habe ich in den Fig. 1 und 2, Tafel I, durch zwei Doppel- oder sich durchkreuzende Diagramme die Druck-Variationen des Dampfes während eines vollen Doppelhubes des Kolbens und zu beiden Seiten dieses letztern dargestellt, und zwar je nachdem die Schiebersteuerung mit der Bewegungsrichtung übereinstimmt oder ihr entgegen läuft, das heisst, je nachdem der Dampf den Kolben antreibt und als beschleunigende Kraft wirkt, oder vom Kolben in den Kessel zurückgedrängt wird, und als Gegendruck, also als verzögernde Kraft wirkt.

Diese Figuren sind mit Hilfe von Original-Diagrammen verzeichnet, welche Herr F o r q u e n o t, Oberingenieur des Maschinenwesens der Paris—Orleans Eisenbahn, aufgenommen hat, der den Watt'schen Indicator täglich und mit grossem Erfolg zur Ermittlung der mit der Vertheilung und der nützlichen Verwendung des Dampfes in Zusammenhang stehenden Erscheinungen anwendet; es waren namentlich die Experimentirungsmittel, welche dieser Ingenieur zu meiner Verfügung zu stellen die Güte hatte, welche es mir möglich machten, die auf die Anwendung des Gegendampfes sich beziehenden Fragen ziemlich vollständig aufzuklären.

Um die Druck-Variationen besser hervortreten zu lassen, ist die Form der in Fig. 1 und 2 der Tafel I dargestellten Diagramme ziemlich merklich verändert worden; dagegen sind die Diagramme auf Tafel II genau so dargestellt, wie der Indicator sie ergeben hat. Um die Gruppierung und die Erörterung der Diagramme zu vereinfachen, habe ich angenommen, dass der Kolben auf eine geometrische Linie Pp oder $P'p'$ reducirt sei, und habe daher die Diagramme selbst innerhalb des Rahmens gezeichnet, welcher den vom Kolben durchlaufenen Raum darstellt.

§. 1. Directe Dampfadmission.

Wenn der Kolben seinen Schub für den Vorwärtsgang, z. B. in Fig. 1, Tafel I, von der Stellung *AB* aus, beginnt, so bewegt sich der Schieber in derselben Richtung, das heisst nach dem Vordertheile der Maschine zu, und indem seine äussere Kante die Dampföffnung *A* entblösst, stellt er die Verbindung mit dem Dampfkessel her; der Dampf schiebt den Kolben vorwärts, welcher seinerseits die Pleulstange und die Kurbel in der durch den vollgezeichneten Pfeil angedeuteten Richtung mitnimmt. In dem Augenblicke, wo in Folge der Excentriks und der Steuerungs-Coulisse der Schieber zurückgeht und die Canalöffnung *A* wieder schliesst, expandirt sich der Dampf und fährt fort, den Kolben, jedoch unter abnehmendem Drucke, nach vorwärts zu schieben; kurz vor beendigtem Kolbenschube entblösst die innere Schieberkante die Dampföffnung *A*, die Dampfausströmung beginnt und dauert bis zum todten Punkte fort, wo der Kolben in die Stellung *CD* gelangt.

Der Kolben kehrt hierauf von der Stellung *CD* gegen *AB* zu zurück, während der Dampf, welcher den Cylinder erfüllte, fortfährt, zum grössten Theile nach Aussen zu entweichen; vor beendigtem Kolbenschube sperrt jedoch der Schieber, in Folge seiner Steuerung, die Verbindung des Dampfcanals *A* mit dem Ausströmungsrohr ab, so dass der dann im Cylinder noch enthaltene und abgeschlossene Dampf comprimirt wird und den schädlichen Raum im Voraus mit Dampf erfüllt, dessen Spannung sich mehr oder weniger derjenigen im Kessel nähert.

Die Kurbel und das Triebrod haben in diesem Augenblicke eine volle Umdrehung ausgeführt; während sich diese vollzog, hat der Dampf, indem er durch die Dampföffnung *C* eintrat, eine zur vorerwähnten symmetrische Wirkung gegen die entgegengesetzte Kolbenfläche hervor gebracht. Indem nämlich der Kolben von *CD* sich nach *AB* zurückbewegte, wurde er von dem Dampfe geschoben und schob seinerseits die Pleulstange und die Kurbel in der durch den punktirten Pfeil angedeuteten Richtung, wodurch eben die Continuität der Rotation herbeigeführt wurde; nach beendigter Admission des Dampfes erfolgte dessen Expansion und hierauf dessen anticipirte Ausströmung; während der Rückkehr des Kolbens von *AB* nach seiner anfänglichen Stellung *CD* fand sodann die Fortsetzung der Ausströmung und schliesslich die Compression des Dampfes statt.

In Folge des Widerstandes, welchen der Dampf bei seinem Austritt aus den Dampföffnungen erfährt, kann seine Spannung, sobald die Geschwindigkeit etwas bedeutend ist, nicht bis zu der äussern Atmosphäre zurückgehen.

In der Fig. 1, Tafel I, in welcher die beiden Diagramme übereinander liegend aufgetragen sind, ist der gegen jede der beiden Kolben-seiten ausgeübte Druck durch eine volle, oder durch eine punktirte Linie dargestellt, je nachdem der Kolben nach vorwärts oder nach rückwärts sich bewegt; um in einem beliebigen Augenblicke die resultirende Kraft-äusserung auf den Kolben zu erhalten, genügt es demnach, denjenigen Theil der Ordinaten Pp oder $P'p'$ zu messen, welcher zwischen den beiden vollen Linien oder beziehungsweise zwischen den beiden punktirten Linien enthalten ist, also ab oder $a'b'$, je nachdem der Kolben vor- oder rückwärts geht.

Obgleich diese graphische Darstellung der vom Dampfe bei gewöhnlichem Gange hervorgebrachten Wirkung Jedermann geläufig ist, so erschien es dennoch zweckmässig, sie hier neuerdings zu erwähnen, um die Erörterung bezüglich des Ganges bei Anwendung des Gegendampfes um so leichter daran anknüpfen zu können; sie zeigt nebenbei, dass der resultirende Druck auf den Kolben nicht immer als bewegende Kraft, sondern in den mehr oder weniger nahe an den todten Punkten gelegenen Punkten K und K' sich in eine Widerstandskraft umwandelt. Diese Widerstandskraft gewährt den Vortheil, dass sie zur theilweisen Aufhebung der im Kolben und in den damit zusammenhängenden Theilen angesammelten lebendigen Kraft beiträgt und den am todten Punkte eintretenden Stillstand und sodann die Umkehr des Kolbens vorbereitet. Diese Wirkung wird dadurch vermehrt, dass man die Schiebersteuerung so anordnet, dass die Dampfcompression und andererseits die vorzeitige Dampfausströmung gleichzeitig stattfinden.

Mit Ausnahme zweier kleiner Abtheilungen des Hubes, kurz vor dem todten Punkte, stützt sich das Querhaupt der Kolbenstange T , T' beständig gegen das obere Führungslineal, und dieses letztere ist es, welches die Kolbenstange in geradliniger Richtung erhält.

§. 2. Umgekehrte Dampfadmission.

Wenn bei geöffnetem Regulator der Dampf durch Verstellung des Steuerungshebels bis zu einer, dem Rückwärtsgang entsprechenden Rast des Führungsbogens, umgekehrt worden ist, so bleibt die Kolbenbewegung zwar dieselbe, allein die einzelnen Phasen der Dampfvertheilung erfolgen in umgekehrter Reihenfolge. In dem Augenblicke, wo der Kolben die Stellung AB verlässt, sind alle Dampfcanäle geschlossen und der Dampf oder das Gemenge von Dampf und Verbrennungsgasen, womit der schädliche Raum angefüllt ist, expandirt sich nach Massgabe des vom Kolben durchlaufenen Raumes; an dem Punkte, wo bei gewöhnlichem Gange die Dampfcompression beginnt, entblösst die innere Kante des Dampfschiebers die Dampföffnung A und der hinter dem Kolben befindliche Raum wird mit dem Blaserohr in Verbindung gesetzt. Es entweicht dann eine gewisse Menge von Dampf oder von gasigem Gemenge; da jedoch die Dampföffnung nur allmählig frei wird und der Kolben in diesem Augenblicke sehr rasch geht, so ist die Ausströmung nur eine geringe und der vom Kolben durchlaufene Raum fährt fort, sich mit dem sich expandirenden gasigen Gemenge zu füllen, und zwar bis zu einem Punkte, der sich nach Massgabe der verschiedenen Stellungen des Steuerungshebels, beziehungsweise der entsprechenden Rasten am Führungsbogen, ändert; es sei z. B. auf Tafel II, Fig. 5, b dieser Punkt; wenn dann in Folge der Kolbenbewegung der vom Kolben durchlaufene Raum sich von diesem Punkte an noch mehr erweitert, so treten, um ihn anzufüllen, Verbrennungsgase aus dem Rauchkasten durch den Dampfcanal A ein. Ist der Kolben in CD angelangt, so besteht die Verbindung mit dem Rauchkasten noch fort, und zwar in so lange, bis der Kolben beim Rückgange von CD gegen AB im Punkte c angelangt ist, welcher bei gewöhnlichem Gange dem Beginn der vorzeitigen Dampfausströmung entspricht. Von diesem Augenblicke an fängt das hinter dem Kolben eingeschlossene Gemenge von Dampf und Verbrennungsgasen an, sich zu comprimiren, da dessen Volumen, in Folge des nach AB stattfindenden Zurückschreitens des Kolbens, sich allmählig vermindert; diese Compression nimmt ziemlich langsam bis zum Punkte e zu, welcher bei gewöhnlichem Gange dem Anfange der Expansion entspricht.

Da alsdann der Dampfcanal A durch die innere Kante des Dampfschiebers entblösst wird, so dringt der Kesseldampf sofort in den Cylinder

ein, um den betreffenden Raum in demselben vollends anzufüllen; das vorher darin eingeschlossene gasige Gemenge wird comprimirt, bis sich dessen Spannung mit derjenigen im Kessel in's Gleichgewicht gesetzt hat; dann aber wird das so entstandene neue gasige Gemenge, in welchem die von aussen gekommenen Verbrennungsgase jetzt in geringerem Maasse enthalten sind, in den Kessel zurückgedrängt; der Widerstand, welchen es in Folge der Verengerung des Dampfcanals und des Dampfleitungsrohrs erfährt, veranlasst eine gewisse Druckvermehrung im Cylinder, wie aus den Diagrammen auf Tafel II ersichtlich ist.

Es ist bemerkenswerth, dass, wenn der Kesseldampf in den Cylinder einzutreten beginnt, der Dampfcanal nur noch wenig geöffnet ist, und dass ein grosses Dampfquantum erforderlich ist, um den Cylinder vollends zu füllen; das Gleichgewicht mit der Spannung im Kessel stellt sich daher nur langsam her, obgleich die Kolbenbewegung, wegen der dadurch herbeigeführten Abnahme des zu füllenden Raumes, hierzu förderlich mitwirkt. — Dieser Umstand ist insofern günstig, als er eine plötzliche Kraftäusserung, welche ähnlich wie ein heftiger, für die Erhaltung der Maschinentheile schädlicher Stoss wirken würde, vermeidlich macht; dagegen bietet er den Nachtheil, dass er die von der Umkehrung des Dampfes herrührenden Widerstandswirkungen in sehr merklicher Weise abschwächt.

Auf der andern Seite des Kolbens erfolgen dieselben Kraftäusserungen, so dass schliesslich das ganze Resultat aller Erscheinungen durch die beiden sich durchkreuzenden Diagramme der Fig. 2, Tafel I, dargestellt wird. Will man in einem gegebenen Punkte des Hubes die Kraft kennen, welche aus den zu beiden Seiten des Kolbens vom Dampfe ausgeübten Wirkungen resultirt, so genügt es, die Theillängen ab oder $a'b'$ der Ordinaten Pp oder $P'p'$, welche den Kolben darstellen, zwischen den beiden vollgezeichneten oder zwischen den beiden punktirten Linien zu messen.

Man erhält auch hier zwei Punkte K und K' , wo diese Resultante sich der Richtung nach ändert; sie sind aber viel weiter von den Cylinderenden entfernt, oder befinden sich näher an der Cylindermitte, als beim gewöhnlichen Gange. Dieser Umstand verdient ganz besonders in Betracht gezogen zu werden, da er höchst wahrscheinlich über die Stösse, das Klappern der Schmierbüchsen in ihren Führungen, das Klappern der Lagerschalen der Pleulstangenköpfe auf den Krummzapfen etc. Aufschluss gibt, welche man zuweilen bei Anwendung des Gegendampfes wahrnimmt; ich habe, allerdings nur einmal, Gelegenheit

gehabt, bei Anwendung des Gegendampfes Stösse wahrzunehmen, welche, wenn der Steuerungshebel auf eine der ersten Rasten der Admission gestellt war, nicht stattfanden, welche dagegen für die Zwischenrasten sehr merklich wurden und bei den, dem Maximum der Admission sich nähernden Rasten wieder verschwanden; diese dreifache Erscheinung scheint mit der Aenderung in der Lage des Punktes *K* bei den verschiedenen Admissionsgraden in Zusammenhang zu stehen. Es wäre dies aber nur ein Grund mehr, den Maschinenführern eine besondere Sorgfalt bei der laufenden Unterhaltung der Maschinen anzuempfehlen, welche insbesondere dann einer raschen Abnützung ausgesetzt sind, wenn die einer alternirenden Bewegung unterworfenen Theile Spiel bekommen. Bei Maschinen, welche sich in gutem Unterhaltungszustande befinden, haben diese Stösse bei Anwendung des Gegendampfes nicht statt.

§. 3. Erwärmungs-Wirkungen.

Die Umkehrung des Dampfes gibt zu einer raschen Erhitzung der Cylinder, der Kolben, der Kolbenstangen und der Schieber, so wie zu einer baldigen Verkohlung der Stopfbüchsen-Packungen Veranlassung. Dies rührt zum Theil von der hohen Temperatur der im Rauchkasten angesaugten und aus der Feuerbüchse kommenden Verbrennungsgase her, welche die mit Wasser von 170° bis 180° Celsius umgebenen Feuerrohre durchziehen und aller Wahrscheinlichkeit nach noch eine Temperatur von 200° bis 250° besitzen. Die hauptsächlichste Veranlassung jedoch zu dieser Erhitzung gibt die Compression des im Cylinder eingeschlossenen Gemenges von Dampf und Verbrennungsgasen, ferner die rasche und erhebliche Compression, welche dieses Gemenge durch den vom Kessel einströmenden, die Füllung vollendenden Dampf erfährt, und endlich das Zurückdrängen des neuen gasigen Gemenges in den Kessel. Der mechanischen Arbeit, welche in Folge der Umkehrung des Dampfes oder durch die Arbeit der Widerstände zerstört wird, welche die verschiedenen Compressionen hervorbringen und welche entweder zur Aufhebung der lebendigen Kraft des Zuges, um ihn aufzuhalten, oder zur Ausgleichung der beschleunigenden Componentialkraft der Schwere in jedem Augenblicke dient, steht die Erzeugung einer gewissen Wärmemenge gegenüber, welche theilweise von den Metallmassen der betreffenden Maschinentheile, deren Temperatur sie sehr rasch erhöht, aufgenommen, und theilweise in den Kessel übertragen wird.

Die Temperaturerhöhung im Kessel ist durch die Dampfausströmung aus den Sicherheitsventilen begrenzt, durch welche die aus den Cylindern kommenden beständigen Verbrennungsgase ebenfalls mit entweichen. Die Temperaturerhöhung der Cylinder hingegen ist durch die Wärmeverluste durch Ausstrahlung nach aussen begrenzt.

Wenn es sich, wie bei den Gebläsemaschinen, um Maschinen handelte, welche langsam gehen und die Gase nur bis zu einer geringen Spannung comprimiren, so würde sich das Gleichgewicht zwischen der innern Erwärmung und der äussern Abkühlung sehr bald herstellen, so dass das Metall nur eine mässige Temperatur annehmen würde. Bei den Locomotiv-Maschinen dagegen erreicht die Compression 5 bis 10 Atmosphären und die Kolbenhübe erfolgen während einer Zeiteinheit in grosser Zahl; während die Erhitzung mit der Menge der geleisteten innern Arbeit wächst, ist die Abkühlung nur der Zeit und der erlangten Temperatur proportional. Man gelangt daher sehr bald bis zu einer Grenze, bei welcher die Schmiermaterialien sich zersetzen, die metallenen Reibungsflächen angegriffen werden und die Stopfbüchsen-Packungen sich verkohlen. Unter gewöhnlichen Verhältnissen würde daher eine Locomotiv-Maschine nicht lange unter Gegendampf arbeiten können, ohne sehr bald dienstunfähig zu werden.

Auf der französischen Nordbahn angestellte Versuche, bei welchen bei einer Geschwindigkeit von 30 Kilometern in der Stunde, abwechselnd, das eine Mal das Dampfausströmungsrohr geschlossen und frische Luft von aussen zugelassen, das andere Mal aber Dampf eingespritzt wurde, haben ergeben, dass im ersteren Falle die Packungen nach einem durchlaufenen Wege von 3 Kilometern, im zweiten Falle nach einem solchen von 5—6 Kilometern zu verbrennen anfangen; die Differenz kann nur dem zugeschrieben werden, dass der durch das Blaserohr zugetretene oder direct vom Kessel gekommene Dampf etwas wenig Wasser mitführte und dass die specifischen Wärmen der Luft und des Dampfes von einander verschieden sind. Es ist anzunehmen, dass die Umkehrung des Dampfes unter gewöhnlichen Umständen, das heisst bei Ansaugung der heissen Verbrennungsgase im Rauchkasten, die Maschine in höchstens 3 bis 4 Minuten dienstunbrauchbar machen würde.

§. 4. Plötzlicher Rückschlag des Steuerungshebels.

Die Anwendung des Gegendampfes kann unter den bis jetzt üblichen Umständen Anlass zu ernstlichen Gefahren für den Maschinenführer geben, indem der Steuerungshebel, welcher durch einen einfachen, sich in eine der am Führungsbogen befindlichen Rasten einsetzenden Riegel festgehalten wird, plötzlich auf seine normale Stellung zurückspringen, bei gewissen Dispositionen der Umsteuerungsvorrichtung den Maschinenführer erreichen und ihn verwunden oder sogar tödten kann. Diese Gefahr ist namentlich dann vorhanden, wenn die normale Stellung des Steuerungshebels, für den Vorwärtsgang der Maschine, sich am rückseitigen Ende des Führungsbogens, also gegen den Tender geneigt, befindet.

Dieser plötzliche Rückschlag des Steuerungshebels, nachdem er bei vorwärtsgehender Maschine in die dem Rückwärtsgange entsprechende Stellung gebracht worden war, scheint bis jetzt noch keine genügende Erklärung gefunden zu haben; als ich mich bei verschiedenen, durchaus kompetenten Ingenieuren um die Ursache desselben erkundigte, habe ich keine plausible Erklärung dafür erhalten; diejenige, welche ich aufgesucht habe und hier mittheile, ist vielleicht nicht neu, allein sie scheint allen den verschiedenen Erscheinungen, welche beobachtet wurden, zu entsprechen; es dürfte genügen, das Princip anzugeben, auf welchem diese Erklärung beruht, damit die Ingenieure, welche diese Frage eingehender ergründen wollen, sich genaue Rechenschaft darüber geben können.

Der vom Dampfe gegen die Schieber ausgeübte Druck veranlasst während ihrer Hin- und Herbewegung eine bedeutende Reibung; dieselbe nimmt zu, wenn die Dampfadmission umgekehrt wird, indem dann eine bedeutende Wärme-Entwicklung stattfindet und die reibenden Flächen sehr bald angegriffen werden. Diese Reibungen geben Veranlassung zu bedeutenden Kraftanstrengungen in den eisernen oder stählernen Schieber- und Excenterstangen, vermittelt welcher die Bewegung der Excentriks auf den Schieber übertragen wird. Es folgt daraus, dass die Excenter-ringe ebenfalls einen starken Druck gegen die Excentrikscheiben ausüben; die daraus entstehende Reibung lässt die Excentrik-Ringe und Stangen als wirkliche Prony'sche Zäune wirken, deren Bestandtheile an der rotirenden Bewegung der Achsen aus dem einzigen Grunde nicht Theil nehmen, weil die Enden der Excentrikstangen mit der Coulisse

fest verbunden sind, welche als Zwischenglied für die Uebertragung der Bewegung auf den Schieber dient. Die Excenterstangen würden selbst die Coulissee in der drehenden Bewegung um die Achse mitnehmen, in welche die Reibung der Excentriks sie zu setzen strebt, wenn sie nicht an dem Aufzugshebel, der selbst durch die Aufzugsstange und den Steuerungshebel festgehalten wird, dauerhaft aufgehangen wäre.

Wenn die Maschine bei voller Dampfadmission nach vorwärts fährt, so ist der Steuerungshebel in seine äusserste Stellung gebracht und in Folge dessen die Verstellung der Coulissee in der Richtung nach abwärts durch ein unüberwindliches Hinderniss begrenzt. Wenn aber der Maschinenführer die Dampfadmission umkehrt, indem er den Steuerungshebel an das entgegengesetzte Ende des Führungsbogens verstellt, so hebt er die Coulissee empor, welche dann nur noch durch den, in eine der Rasten des Führungsbogens eingreifenden Riegel des Steuerungshebels gehalten wird. Sie hat das Bestreben, sich durch die Excenterstangen nach abwärts in ihre frühere Stellung zurück bewegen zu lassen, und zwar mit einer Kraft, deren Intensität mit der Reibung des Schiebers wächst, welche letztere ihrerseits das Maass der Reibungen des Excenterringes auf seiner Scheibe bestimmt.

Wenn der Maschinenführer in der Hast, die Dampfadmission umzukehren, den Riegel schlecht in die Rast eingeschoben hat und wenn die von der Bewegung der Maschine oder von dem Zerren an der Coulissee herrührenden Vibrationen den Riegel allmählig aus der Rast heraustreten machen, so kann es in einem gewissen Augenblicke vorkommen, dass er abgleitet und dass die plötzlich in ihre frühere tiefere Stellung zurückkehrende Coulissee gleichzeitig den Steuerungshebel in seine normale, der Bewegungsrichtung entsprechende Stellung zurückbringt. Dies ist der Augenblick, in welchem der Maschinenführer in die volle Brust getroffen werden kann, wenn diese normale Stellung zufolge der angenommenen Disposition sich nach rückwärts befindet, wie dies seit einer Reihe von Jahren üblich ist.

Aus demselben Grunde kann der Maschinenführer den Handgriff zur Umkehrung des Dampfes, bei vollem Gange, verfehlen, wenn er nicht Muskelkraft genug besitzt, oder wenn es ihm nicht beim ersten Male gelingt, den Riegel gehörig einzusetzen; je nach der normalen Stellung, welche für den Steuerungshebel angenommen ist, kann er dann nach rückwärts geworfen oder nach vorwärts gerissen werden.

Bei gewissen Maschinen, bei welchen der Constructeur die Coulissee für den Vorwärtsgang in die höchste Stellung gebracht hat, das heisst

so, dass der untere Theil der Coulissee auf den die Schieberstangen antreibenden Schlitten wirkt, kann eine ähnliche Wirkung entstehen, und es findet in diesem Falle die Umkehrung der Dampfadmission selbstthätig statt.

Jene Maschinen, bei welchen die Coulissee an einem fixen Punkte aufgehangen ist, und wo die Aufzugsvorrichtung eine lange, zwischen den Schlitten und die Schieberstange eingefügte Schubstange in Thätigkeit setzt, sind diesen plötzlichen Rückschlägen des Steuerungshebels nicht ausgesetzt. Dasselbe findet offenbar statt, wenn der Hebel durch eine Schraube ersetzt ist. Eine der Hauptursachen, warum die Anwendung des Gegendampfes in Frankreich guten Erfolg hatte, war die, dass man, statt des gewöhnlichen Steuerungshebels, die Umsteuerung mittelst Schraube einführte, welche man dem Herrn Marié, Ober-Ingenieur des Maschinenwesens des Bahnnetzes von Paris nach Lyon und nach dem mittelländischen Meere, verdankt; dieses werthvolle Hilfsorgan hat es dem genannten Ingenieur ermöglicht, die Anwendung des neuen Systems des Gegendampfes zu verallgemeinern und es bei allen Zweigen des Dienstes zu benützen; bis jetzt hat noch keine andere Eisenbahn so vielfache Anwendungen dieses Systems gemacht, und deren Zahl übersteigt sicherlich jene auf sämtlichen übrigen Bahnen des ganzen Continents.

Anwendung des Gegendampfes.

§. 1. Zweck und Vorthelle des neuen Systems.

Die Anwendung eines einfachen Kunstgriffs, welcher geeignet war, die der Anwendung des Gegendampfes entgegenstehenden Schwierigkeiten zu beseitigen, entsprach einem mit jedem Tage fühlbarer hervortretenden Bedürfnisse. Die Bahnen mit stärkern Steigungsverhältnissen vervielfältigten sich, die Züge werden schwerer und ihre Geschwindigkeiten nehmen zu; dadurch dass man aus dem Kessel einen kleinen Wasserstrahl entnimmt, welcher den Raum des Ausströmungsrohrs mit einem Gemenge von Dampf und Wasser erfüllt, ist es möglich geworden, alle Schwierigkeiten gründlich zu beseitigen.

Auf sämtlichen Bahnstrecken des ganzen französischen Bahnnetzes, deren Gefälle 12 bis 15 Millimeter pro laufenden Meter übersteigt, fahren heutigen Tages die Züge in der Richtung nach abwärts mit Anwendung des Gegendampfes und ohne Beihülfe der Bremsen, mit

einer so regelmässigen Geschwindigkeit, wie die Sicherheit sie nur bedingen kann, ohne dass die Maschinen in aussergewöhnlicher Weise angestrengt würden, und mit einer ganz unerheblichen Vermehrung der Kosten für das Brennmaterial.

Die Radbandagen der Tender und der mit Bremsen versehenen Waggons sind den Ursachen der Abnützung und Deformation, welche ihr Gleiten auf den Schienen oder ihre Reibung an den Bremsklötzen hervorbringt, nicht mehr unterworfen; die Schienen sind vor der vorzeitigen Abnützung, welche die Reibung der Räder früher herbeiführte, geschützt; die Schienenbrüche, welche in Folge der an der Oberfläche der Radbandagen durch andauernde Reibung entstandene Flachstellen stattfanden, sind vermieden; endlich werden namhafte Ersparnisse an den Schmierungskosten dadurch erzielt, dass die Räder sich nun nicht mehr in Folge der Reibungen erhitzen, und die aufgenommene Wärme durch die Radspeichen der Nabe und den Achsschenkeln mittheilen.

Für das Gefälle von Lannemezan des französischen Südbahnnetzes, dessen Neigung 32 Millimeter pro Meter beträgt und sich ohne Unterbrechung auf eine Länge von 11 Kilometer erstreckt, hatte die Eisenbahngesellschaft für das niedergehende Geleise Schienen aus Bessemerstahl bestellt; nach einer längeren Erfahrung hat sie jedoch die Wahrnehmung gemacht, dass die Schienen dieses Geleises sich nicht mehr abnützten als die des andern Geleises, und sie hat daher über dieses kostbare Oberbaumaterial anderweitig verfügen können, um es auf den zumeist befahrenen Bahnstrecken zu verwenden.

Die auf einer geneigten Ebene nach abwärts verkehrenden Züge befinden sich bezüglich des Anhaltens in derselben Bedingung, als wenn sie eine horizontale Strecke befahren; die Arbeit der Maschine befindet sich in jedem Augenblicke im Gleichgewichte mit der Wirkung der Schwere, und wenn angehalten werden soll, so reichen die Tender- und Waggon-Bremsen dazu hin; man verfügt zwar dann nicht mehr in seiner Ganzheit über das Hülfsmittel des Gegendampfes zum Anhalten, allein da die Admission des Gegendampfes in der Regel nur bei einer Zwischenstellung des Steuerungshebels stattfindet, so kann man in den meisten Fällen die verzögernde Wirkung für den Augenblick dadurch vermehren, dass man die Steuerung bis zum Ende des Führungsbogens verstellt. In mehreren Fällen wurde bereits die Anzahl der Hülfsbremser, welche man bei der Thalfahrt auf starken Gefällen auf den Zügen verwenden musste, vermindert; wenn jedoch deren Zahl in den Bahnstrecken mit bedeutendern Steigungsverhältnissen noch ziemlich be-

deutend sein muss, so geschieht es nicht so sehr wegen der Thalfahrt, als vielmehr wegen der Bergfahrt für den Fall, dass ein Bruch der Kuppelungsketten vorkäme.

Der Gegendampf kommt beim gewöhnlichen Anhalten in den Stationen mehr und mehr in Gebrauch; die am Ende des Zuges postirten Bremser haben häufig die Weisung, bei Annäherung an eine Station die Bremsen von freien Stücken anzuziehen, sobald der Maschinenführer die Steuerung auf den todten Punkt einstellt, und in Folge dessen die Dampfausströmung aus dem Kamine aufhört; der Maschinenführer thut dann das Uebrige mittelst des Gegendampfes, indem er nöthigenfalls, um am richtigen Punkte anzuhalten, die Gegendampfsteuerung bis zur äussersten Admissions-Grenze verstellt; sehr oft jedoch hält die Maschine ganz allein den Zug auf, sei es weil die vorstehende Weisung nicht ertheilt ist, sei es dass die Bremser dieselbe nicht befolgen, weil sie wahrnehmen, dass der Maschinenführer ihrer Beihülfe nicht bedarf; immerhin wird die Tenderbremse nur ausnahmsweise gehandhabt und gibt bei eintretender Nothwendigkeit eine sehr wirksame Reserve ab. Es gibt Maschinenführer, welche bei gründlichem Verständniss des zu ihrer Verfügung gestellten Apparates mit oder ohne Zuhülfenahme der Zugsbremsen, mit voller Geschwindigkeit bis zur Einfahrt der Stationen anlangen, und dennoch den Zug mit Genauigkeit und nach Durchlaufung eines nur kurzen Weges anhalten.

Sowohl beim Niederfahren auf einem Gefälle, wie beim Anhalten in den Stationen, zeigt die Erfahrung, dass man ohne Nachtheil es der Maschine allein überlassen kann, die zur Bekämpfung der Wirkung der Schwere oder zur Aufhebung der lebendigen Kraft der Züge erforderliche Widerstandskraft zu beschaffen. Man ist zur Annahme berechtigt, dass der Gegendampf bei Einspritzung von Wasser und vollständiger Abkühlung der Cylinder ebenso allgemein zum Anhalten in den Stationen in Anwendung kommen wird, wie beim Niederfahren auf geneigten Ebenen, und dass in Folge dessen die Zeitverluste, deren Bedeutung, insbesondere für die gewöhnlichen, an einer grossen Zahl von Stationen anhaltenden Züge, eine stetig zunehmende ist, sehr wesentlich sich vermindern werden. Die Bremsen werden nur noch als Reserve-Hülfsvorrichtungen dienen, welche im Falle eines Nothsignals oder einer Zugs-Ueberlastung in Thätigkeit zu setzen sind. Bis jetzt ist man noch nicht in systematischer Weise bis zu diesem Punkte gelangt, allein das Studium der Thatsachen erweist die diesbezüglichen Bestrebungen als durchaus berechtigt. Es wird dies der Ausgangspunkt für neue Ersparnisse

in der Unterhaltung des beweglichen und unbeweglichen Betriebsmaterials sein.

Aus den vorstehenden Bemerkungen darf man jedoch nicht den zu weit gehenden Schluss ziehen, dass die Bremser gänzlich beseitigt werden könnten, sondern nur den, dass ihre vorschriftsmässig erforderliche Anzahl verringert werden könnte; dadurch würden die Dienstverrichtungen, welche bisher einem Personale oblagen, welches einen sehr untergeordneten Rang einnimmt, welches häufig nachlässig und durch einen rein mechanischen Dienst indifferent geworden ist, nunmehr dem Maschinenführer übertragen, der die zum Anhalten erforderlichen Vorkehrungen selbst treffen würde, statt die Weisung dazu mittelst einer so unvollkommenen Vorrichtung, wie die Dampfpeife ist, zu ertheilen. Man kann sogar annehmen, dass die mittelst der Dampfpeife zum Bremsen gegebenen Signale, wenn sie nur noch als Alarm-Signale oder in vereinzeltten Nothfällen gebraucht werden, besser von dem Zugspersonale befolgt werden, als solche, die unaufhörlich wiederholt werden, oder als eine ein für allemal ertheilte Dienstvorschrift.

Diese Brems-Frage verdient ernstlich in Erwägung gezogen zu werden; für das Niederfahren auf Gefällen ist sie vollständig gelöst, und die Substituierung eines regelmässigen, mit gleichförmiger Geschwindigkeit erfolgenden Ganges an die Stelle des unregelmässigen, bei Anwendung der Bremsen stattfindenden Ganges, welcher die vorschriftsmässige mittlere Geschwindigkeit nur innerhalb weit auseinander gehender Schwankungen erreichen konnte, ist eine wesentliche Bürgschaft für die Sicherheit. Dagegen bildet die systematische Anwendung des Gegendampfes beim Anhalten in den Stationen, sowie der, nur zum Zwecke der Vermehrung der Widerstände zu machende Gebrauch der gewöhnlichen Bremsen vorläufig noch eine Streitfrage; ich zweifle jedoch nicht, dass die bezüglich der neuen Vorrichtung sich täglich vervollständigenden Erfahrungen schliesslich dahin führen werden.

Die durch die Schrauben-Umsteuerung vervollständigte Anwendung des Gegendampfes ergibt eine hervorragende Vereinfachung des Rangirdienstes der Lastzüge in den Stationen; der Maschinenführer hält seinen Regulator stets offen, fährt nach vorwärts oder nach rückwärts und hält an, indem er sich darauf beschränkt, die Stellung der Schieber zu ändern; die vorzunehmenden Bewegungen gewinnen daher sowohl an Einfachheit, als auch an Schnelligkeit.

§. 2. Einspritzung von Wasser.

Als ich gegen die Mitte des Jahres 1865 mich damit beschäftigte, systematische Versuche zu organisiren, um die Sachlage bezüglich der Anwendung des Gegendampfes einer Verbesserung entgegenzuführen, fing ich damit an, zu verificiren, ob es mittelst der Vorrichtung des Herrn von Bergue möglich sei, ziemlich lange Zeit zu gehen; ich fand sehr bald, dass die Erhitzung der Cylinder rasch zunahm, und dass dieses Mittel für etwas lange Fahrten nicht anwendbar sei. Ich sah mich daher veranlasst, ein vollständiges Programm aufzustellen, welches bezweckte, die Umkehrung des Dampfes zu vervollkommen, und darin bestand, eine Verbindung zwischen dem Kessel und dem unteren Theile des Blaserohrs herzustellen, um einen Dampf- oder Wasserstrahl dahin zu leiten und die beim Rückgange der Kolben von den Cylindern ausgestossenen elastischen Flüssigkeiten, wie Dampf oder Gase, in den Kessel zurückzudrängen. Ich hatte drei verschiedene Combinationen angegeben, um sie nach einander zu versuchen, je nachdem die vollständige Abkühlung der Cylinder mehr oder weniger Schwierigkeiten darbieten würde:

1. Einspritzung von Dampf im Gemenge mit der Luft.
2. Einspritzung eines Ueberschusses von Dampf, um die Ansaugung von Luft zu verhindern.
3. Anstatt des Dampfes, Einspritzung eines Wasserstrahls.

Ich nahm anfänglich an, dass der Dampf eine zur Absorbirung der frei werdenden Wärme genügende Menge Wasser mit sich führen und vor seinem Eintritt in die Cylinder sich theilweise condensiren würde. Diese zweifache Annahme erwies sich als unrichtig; während des Ganges mit Gegendampf hört das Wasser im Kessel auf, sich in einem Zustande heftigen Aufkochens zu befinden und es kann nur in kleinem Maasse mitgerissen werden; wenn ausserdem der Dampf bei seinem Austritte aus dem Kessel sich ausdehnt, so wird er trocken und das wenige Wasser, welches er mitgerissen hatte, verwandelt sich, wenigstens zum grossen Theile, in Dampf. Die ersten Versuche, die angesaugten Gase mit Dampf zu vermengen, haben daher keine günstigen Resultate ergeben.

Bei Einspritzung einer überschüssigen Dampfmenge, welches System ich mit der Benennung einer umgekehrten Dampfmaschine*) kennzeichnete, hat man befriedigende Resultate erhalten, und man konnte mit mässiger Admission, das heisst bei geringer Zugsbelastung oder auf schwachen Gefällen, arbeiten, ohne die Packungen zu verbrennen und

*) Machine à vapeur inverse.

ohne die reibenden Flächen zu beschädigen; es gibt beispielsweise in Frankreich eine Eisenbahn, auf welcher 200 Locomotiv-Maschinen mit einem einzigen Hahn, behufs Einspritzung von Dampf, versehen sind, und wo die Substituierung dieses letztern an die Stelle der im Rauchkasten angesaugten Gase es eben zulässt, den Gegendampf zum Anhalten und zu den Verschiebungen in den Stationen, sowie zur Moderirung der Geschwindigkeit der Lastzüge beim Abwärtsfahren auf Gefällen von 5 Millimetern pro Meter, in Anwendung zu bringen; man wendet denselben sogar bei der Niederfahrt leichter Züge auf kurzen Gefällen an, deren Neigung 45 Millimeter pro Meter beträgt.

Die Erfahrung hat jedoch sehr bald dargethan, dass eine allgemeine und vollständige Lösung des Problems nur mit einer Wassereinspritzung erreichbar und dass letztere nöthig sei, um eine vollständige Absorbirung der durch die Compression in den Cylindern und durch das Zurückdrängen in den Kessel frei werdenden Wärme zu erzielen, und um die Umkehrung des Dampfes ganz unschädlich zu machen.

Die Ingenieure, denen ich die Versuche in Spanien anvertraut hatte, hatten sich keine genaue Rechenschaft über die Wirkungen, welche die Einspritzung von Wasser hervorbringen sollte, gegeben und dieselbe nur mit Besorgniss in Anwendung gebracht; sie glaubten sie auf ein Minimum reduciren und sie nur im kleinstmöglichen Maasse dem Dampfe beifügen zu sollen. Trotz der successiven Vermehrung des Verhältnisses des dem Dampfe zugefügten Wassers waren die bei dieser ersten Anwendung erzielten Resultate niemals vollständig. Erst in Frankreich haben die Ingenieure angefangen, die Nothwendigkeit einzusehen, dass man dem Wasser eine vorwiegende Rolle vor dem Dampfe zutheilen müsse und es ist ihnen gelungen, das neue System in allen sich darbietenden Umständen des Dienstes anwendbar zu machen.

Lange Zeit hindurch meldeten die aus Spanien einlangenden officiellen Berichte, im Widerspruche mit dem, was man später erkannt hat, dass die mit einem Gemenge von Dampf und Wasser erzielten Resultate durchaus befriedigend seien. Man blieb daher während zwei und einem halben Jahre der festen Ueberzeugung, dass die Lösung der Frage in der Einspritzung eines Gemenges von Wasser und Dampf in das Blaserohr bestehe; durch Versuche und mit Hilfe zweier, dem Maschinenführer zur Verfügung gestellter unabhängiger Hähne gelangte man allmählig dahin, das erforderliche Verhältniss zwischen diesen beiden Elementen für jeden Fall der Admission, der Geschwindigkeit, der Dampfvertheilung und der Cylinderdimensionen herzustellen.

Unter dem Einflusse des Gedankens, dass dem Dampfe eine nothwendige Rolle zuzutheilen sei, wurden schon zahlreiche Anwendungen und zwar allein in Frankreich an mehr als 1800, theils in Dienst stehenden, theils in der Montirung begriffenen Maschinen gemacht. Das practische Resultat war genügend, weil die Unabhängigkeit der beiden Hähne es ermöglicht hat, das Verhältniss des Wassers in jedem einzelnen Falle bis zur erforderlichen Grenze auszudehnen.

Als ich zu Ende des Jahres 1868 mich der mir bis dahin obliegenden Geschäfte entledigt hatte, unternahm ich es persönlich, die Frage zu studiren und die Resultate des in Anwendung gebrachten Systems, welches ich vorgeschlagen und fern von mir hatte versuchen lassen, zu verificiren. Ich konnte bald genug constatiren, dass meine erste Auffassung, welche ich zu verschiedenen Malen hervorgehoben hatte, in allen Punkten richtig sei, und dass die wirkliche Lösung einzig und allein in einer Einspritzung von Wasser bestehe, dass diese Lösung für sich allein allen Bedingungen des Problems Genüge leiste und dass sie in den Fällen grösster Admission und Geschwindigkeit wahrscheinlich die einzige durchaus erfolgreiche sei, endlich dass der Dampf nur eine Nebenrolle spiele, über gewisse Verhältnisse hinaus schädlich wirke, und dass, wenn seine Anwendung wegen sonstiger Zwecke dienlich erscheine, sie mit Maass und Vorsicht geschehen müsse.

Der Gang, den ich zur Vervollständigung meiner Darstellung befolgen werde, stimmt daher mit dem Principe selbst des Systems, nicht aber mit dem Gange, den die bis in die letzte Zeit gemachten Anwendungen befolgt haben, überein.

§. 3. Wirkungen der Wassereinspritzung.

Wenn man davon spricht, aus dem Kessel kommendes Wasser in die Cylinder einer Locomotiv-Maschine einzuspritzen, so ist wohl zu beachten, dass dieses kein flüssiges Wasser ist, wie es der Mündung eines Röhrbrunnens entströmt; das Wasser im Kessel befindet sich in einer sehr hohen Temperatur; wenn es durch einen Hahn in einen Raum entweicht, in welchem die Spannung nur gleich der der äussern Atmosphäre ist, so fängt es sofort zu sieden an und bildet eine gewisse Menge Dampf von 100°, welche im Verhältniss zu der disponibel gewordenen Wärmemenge steht.

Um die Einspritzung zu bewirken, gibt man der Oeffnung des Hahns einen Querschnitt, welcher von 0 bis zu 12 oder 15 Quadratmillimetern

variirt, während das an den Seiten des Kessels in gewundener Richtung hinlaufende Zuleitungsrohr einen Durchmesser von 25 bis 30 Millimeter hat, und um den Anfangspunkt des Ausströmungsrohrs, wenn dieses in zwei Arme getheilt ist, zu erreichen, sich meistens in zwei Aeste spaltet. Die dem Hahn entströmende Wassermenge hängt nicht nur von der Form und Grösse seiner Oeffnung ab, sondern auch von dem Querschnitt, der Länge und den Krümmungen des Zuleitungsrohrs, und sie kann, in Folge der der Bewegung im Rohre sich entgegenstellenden Widerstände, eine gewisse Grenze erreichen, bei welcher sie nahezu constant wird, welche auch die Oeffnung des Hahns sei. Bei einem Rohre von 30 Millimeter Durchmesser ergibt sich diese Grenze etwa zu 40 Kilogramm, und bei einem solchen von 40 Millimetern etwa zu 80 Kilogramm Wasser in der Minute; in der Praxis bedarf man jedoch keiner höhern Ausflussmenge als etwa 25 bis 30 Kilogramm.

Je nachdem die Ausflussmenge gross ist, wird die Verdampfung eines Theiles des heissen Wassers an einem variablen Punkte des Zuleitungsrohrs vor sich gehen oder sich vervollständigen; jedenfalls wird sie beim Eintritt in das Ausströmungsrohr bereits erfolgt sein und die Räumlichkeit dieses letztern wird, wie schon erwähnt, mit einer Emulsion oder mit einer Art wässerigen Nebels erfüllt, welcher demjenigen ähnlich ist, welcher aus einem zersprungenen Feuerrohre oder aus einem Ausblas-hahn unter hohem Drucke ausströmt, wenn man den Kessel entleeren will. Dieses Gemenge von Wasser und Dampf bewegt sich in dem Einspritzrohr mit einer grossen Geschwindigkeit, und man ist zur Annahme berechtigt, dass diejenigen Wassertropfen, welche sich darin noch mit einem gewissen Volumen vorfinden könnten, in Folge des Stosses gegen die Wandungen des Ausströmungsrohrs, gegen welche sie mit Heftigkeit geschleudert werden, sich vollends zertheilen und zerstäuben. Es wird daher den Cylindern in Wirklichkeit ein elastisches und compressibles Fluidum zur Aspiration dargeboten, welches ohne alle Schwierigkeit und ungefähr ebenso wie gesättigter Dampf in den Röhren und Dampfcanälen circulirt.

Ueber die Zusammensetzung dieses Gemenges von Wasser und Dampf kann man sich mit Hülfe der Rechnung leicht Aufschluss verschaffen.

Unterstellt man, dass man aus einem Locomotivkessel, in welchem die absolute Spannung 9 Atmosphären erreicht, 10 Kilogramme Wasser in der Minute ausströmen lässt, so wird sich eine gewisse Menge Dampf bilden, welche ich mit x bezeichne. Die Temperatur des mit gesättigtem

Dämpfe von 9 Atmosphären Spannung in Berührung stehenden Wassers ist $175^{\circ},77$ Celsius, und die Wärmemenge, welche ein Kilogramm dieses Wassers, wenn seine Temperatur bis 0° sinkt, abgibt, ist nach Regnault gleich $178,017$ Calorien*); diejenige welche ein Kilogramm Wasser von 100° bis 0° abgibt, ist $100,500$ Calorien. Ausserdem ist, zufolge der Zeuner'schen Tabellen, zur Verwandlung eines Kilogrammes, oder eines Liters Wasser von 100° in Dampf von 100° , und um daher eine 1646mal grössere Luftsäule zu verdrängen, eine Arbeitsmenge erforderlich, welche äquivalent ist mit $40,092$ Calorien**). Endlich beträgt der in einem Kilogramm Dampf von 100° enthaltene Ueberschuss an innerer Wärme über jene, welche in einem Kilogramm Wasser von 0° enthalten ist, $596,760$ Calorien.

Man kann daher einerseits zwischen der Wärmemenge, welche 10 Kilogramm Wasser im Kessel enthalten, und anderseits jener, welche sich in dem Gemenge von Wasser und Dampf bei 100° wiederfindet, plus dem Wärmeverluste, welcher durch die zur Dampfbildung benöthigte Arbeit hervorgebracht wird, folgende Gleichung aufstellen:

$$10 \times 178,017 = (10 - x) 100,500 + x (596,760 + 40,092)$$

woraus man findet

$$x = 1,445 \text{ Kilogramm oder } 14,45\%.$$

Da der Dampf bei 100° ein 1646mal grösseres Volumen einnimmt als das Wasser, welches ihn hervorgebracht hat, so nehmen 1,445 Kilogramm Dampf ein Volumen ein von 2378 Liter, in welchem der übrige Theil von 8,555 Kilogramm oder 8,555 Liter Wasser verbreitet ist, und das Gesamt-Volumen auf 2387 Liter erhöht.

Man kann dieses Verhältniss von $8,555 : 2387 = 0,0036$ als den Wassergehalt des wässerigen Nebels bezeichnen.

Wiederholt man dieselben Berechnungen für verschiedene Kesselspannungen und unterstellt, dass das Einspritzrohr einen Querschnitt von 5 Quadratcentimeter habe, welcher einem Durchmesser von 25 bis 26

*) Eine Calorie ist diejenige Wärmemenge, welche nöthig ist, um die Temperatur eines Kilogramms Wasser von 0° bis zu 1° Celsius zu erhöhen.

**) Durch die mechanische Wärmetheorie ist festgestellt, dass die Wärme sich in Arbeit umwandelt und umgekehrt, und zwar nach einem constanten Verhältnisse, welches die Arbeiten der Physiker zwar noch nicht in ganz definitiver Weise festgestellt haben, das aber sehr nahezu wie 1:424 angenommen werden kann.

Mit andern Worten, eine Calorie erzeugt eine Arbeit von 424 Kilogrammetern, oder die Vernichtung einer solchen Arbeit veranlasst die Bildung einer Wärmemenge, welche gleich ist einer Calorie.

Millimeter entspricht, so erhält man, für eine Ausflussmenge von 10 Kilogramm in der Minute, folgende Tabelle:

Absoluter Dampfdruck in Atmosphären	Temperatur im Kessel	Verhältniss des gebildeten Dampfes	Volumen des in einer Minute gebildeten Dampfes	Wassergehalt des Gemenges von Wasser und Dampf	Geschwindigkeit des Gemenges in Metern pro Secunde
10	180°,31	15,33 %	2532 liter	0,0033	84 ^m ,40
9	175,77	14,45	2387	0,0036	79,57
8	170,80	13,49	2229	0,0039	74,30
7	165,34	12,43	2055	0,0042	68,49
6	159,22	11,26	1862	0,0048	62,06
5	152,22	9,92	1642	0,0055	54,76

Diese Zahlen lassen die Natur des Gemenges erkennen, welches man den Cylindern vermöge der Kolbenbewegung zur Aspiration darbietet, wenn man zum Zwecke ihrer Abkühlung Wasser aus dem in Druck stehenden Kessel überleitet. Es ist eine Art von Nebel, der sehr fein zertheiltes Wasser führt und wahrscheinlicher Weise mit gewissen sehr dichten und feuchten Nebeln, welche auf die von ihnen umgebenen Körper Wasser absetzen, vergleichbar ist.

Man kann dieses System, dem zufolge Wasser aus dem Kessel in die Cylinder eingeführt wird, sogar auch so bezeichnen, dass es der Wirklichkeit nach in einer Einspritzung von Dampf besteht, der das grösste Quantum Wasser enthält, welches demselben mechanisch zugesellt werden kann. Bei einem gegebenen Drucke könnte der Wassergehalt des Gemenges nur dann erhöht werden, wenn man in das Einspritzrohr eine gewisse Menge kaltes Wasser zuführte, oder wenn man den aus dem Kessel kommenden Wasserstrahl von aussen her dadurch abkühlte, dass man ihn zum Beispiel durch ein Schlangenrohr durchleitete.

Wie die Erfahrung zeigt, entspricht eine derartige Einspritzung, deren quantitative Bemessung sich nothwendiger Weise nach dem Admissionsgrade, also nach der Rast des Führungsbogens, bis zu welcher der Steuerungshebel behufs Umkehrung des Dampfes gestellt wurde, ferner nach der Grösse der Cylinder und nach der Ganggeschwindigkeit richten muss, allen Anforderungen der gestellten Aufgabe.

Das Wasser, welches in Gestalt von wässerigem Nebel in die Cylinder gelangt, verwandelt sich daselbst in Dampf; die Wärme, welche in Folge der Compression und in Folge der durch den rückwärtsschreitenden Kolben bewerkstelligten und im Verhältniss zu der von der

Maschine entwickelten Widerstands-Arbeit stehenden Zurückstauchung des Dampfes entbunden wird, wird vollständig absorbirt, so zwar, dass ein in dem nach dem Kessel zurückgedrängten Dampfstrom angebrachtes Thermometer nur jene Temperaturerhöhung nachweist, welche der zur Fortschaffung des Dampfes nöthigen Druckvermehrung entspricht, nämlich einen oder höchstens zwei Grad Celsius.

Während der Aspirationsperiode, das heisst in der sehr kurzen Zeit, während welcher der innere Cylinderraum mit dem Ausströmungsrohre und der äussern Luft in Verbindung steht, bildet sich ausser jenem Dampfe, welcher zur Füllung des Cylinders nöthig ist, sogar noch ein gewisser Ueberschuss, der nach aussen entweicht und an der Mündung des Schornsteins eine Art Wolke bildet, so dass die aus der Feuerbüchse kommenden Verbrennungsgase weder in die Cylinder, noch in den Kessel eindringen können und dass die zur Kesselspeisung verwendeten Giffard'schen Injectoren den Dienst nicht versagen. Wenn in Folge einer Irrung oder eines Vergessens des Maschinisten die Wassereinspritzung unzureichend ist, so gelangen beständige Gasarten in den Kessel, der Zeiger des Manometers schwankt heftig und die Giffard'schen Strahlpumpen treten ausser Thätigkeit oder saugen nicht mehr an. — Ist dagegen die Wassereinspritzung überreichlich, so wird ein Theil desselben durch den in den Cylindern gebildeten und wieder nach aussen entweichenden Dampf mitgerissen und fällt entweder im Rauchkasten nieder oder wird durch den Schornstein ausgeworfen. Je nachdem das Einspritzrohr in grösserer oder geringerer Nähe der Cylinder-räumlichkeiten in das Ausströmungsrohr einmündet, gelangt mehr oder weniger von diesem überschüssigen Wasser in den Cylinder; sieht man von dem nach aussen ausgeworfenen Wasser ab, so ist die Situirung der Einmündungsstelle ziemlich gleichgültig, und es genügt, dass der Kessel ein solches Wasserquantum in das Innere des Ausströmungsrohrs zuführe, dass der damit gebildete Dampf zur Füllung der Cylinder ausreiche.

Wie ich später nachweisen werde, sind die Kolben und Schieber von einer mit tropfbar flüssigem Wasser geschwängerten Atmosphäre umspült, welche die Reibungsflächen anfeuchtet und schmiert, und die Verhältnisse, unter denen sie arbeiten, sehr günstig und sogar noch günstiger als beim gewöhnlichen Gange gestaltet.

Um diese verschiedenen Wirkungen zur klaren Anschauung zu bringen, dürfte es am besten sein dieselben an einem practischen, den zahlreichen Versuchen, die ich in dieser Beziehung gemacht habe, entnommenen Beispiele zu erläutern.

Bei der mit 8 gekuppelten Rädern versehenen Gütermaschine Nr. 1118 der Paris—Orléans Bahn ist:

Der Durchmesser der Triebräder	1 ^m ,30
der Durchmesser der Cylinder	0,50
der Kolbenshub	0,65
die Ganggeschwindigkeit pro Stunde	30 Kilometer
die Dampfadmission in Procenten des Kolbenhubes	58 %
In der Minute eingespritztes Wasserquantum	18 Kilogramm
Absoluter Dampfdruck im Kessel	7,75 Atmosph.

Das Diagramm, Figur 3, Tafel II, welches bei diesem Versuche erhoben wurde, gibt, nach Abzug des zurückgedrängten Volumens, annähernd für das wirklich angesaugte Volumen 40% des dem Kolbenshub entsprechenden Volumens, und für die mittlere, aus dem Original-Diagramme, wovon die Figur 3 nur eine Reduction ist, entnommene Dampfspannung 1,77 Kil. pro □ Centimeter.

Man hat demnach:

Totaldruck gegen den Kolben in Kilogrammen	3474,80
Arbeit während eines Kolbenshubes in Kilogramm-	
metern	2258,62
Anzahl der Umdrehungen der Räder in der Minute	122,52
Anzahl der Cylinderfüllungen in der Minute	490,08
Totalarbeit in einer Minute, in Kilogrammetern	1106904,00
Die mit dieser äquivalente Wärmemenge in Calorien	2610,62
Temperatur des Wassers im Kessel bei dem Drucke von	
7,75 Atmosphären, in Grad Celsius	169,50
Anzahl der zur Umwandlung von 1 Kilogramm Wasser	
von 169°,50 in Dampf von 7,75 Atmosphären Span-	
nung aufzuwendenden Calorien	486,72
In einer Minute einzuspritzendes Wasserquantum, in Kilo-	
grammen	5,36

Mit andern Worten, man wird der ersten Bedingung, die ganze, in Folge der Umkehrung des Dampfes frei werdende Wärme zu absorbiren, genügt haben, wenn man es erreicht, dass von den, dem Kessel entnommenen und den Cylindern dargebotenen 18 Kilogrammen Wasser ein Theil von 5,36 Kilogramm in Dampf verwandelt wird *).

*) Man könnte diese Berechnung auch in einer andern Weise vornehmen, indem man damit anfinke, von dem Wassergewichte jene 13% Dampf in Abzug zu bringen, welche sich aus demselben beim Austritte aus dem Kessel selbstthätig entwickeln; man müsste dann aber für die Wärmemenge, welche von

Die Erfahrung zeigt, dass diese Verdampfung in Wirklichkeit stattfindet, und dass sie sogar in noch höherem Maasse erfolgt, indem die 18 Kilogramm Wasser während der Aspirationsperiode sich gänzlich oder beinahe ganz in Dampf umwandeln. Das Metall der Cylinder und der dazu gehörigen Bestandtheile gibt die zur Verdampfung erforderliche Wärmemenge an das Wasser ab und diese abgegebene Wärme wird ihm wieder durch jene ersetzt, welche einestheils während der, sogleich nach der Aspiration folgenden Compressions- und Zurückdrängungs-Periode erzeugt, und andernteils während der Gegendampf-Admission mit dem vom Kessel kommenden Dampfe zugeführt wird.

Um sich zu überzeugen, dass die Dinge in dieser Weise vor sich gehen, genügt es, sich gegenwärtig zu halten, dass die beiden Cylinder, die Kolben und Kolbenstangen, die Cylinderdeckel, die Schieberkasten und Schieber etc. zusammen eine Metallmasse im Gewichte von etwa 2500 Kilogramm bilden; man kann in runder Ziffer annehmen, dass die mittlere specifische Wärme dieser aus Guss- und Schmiedeisen und Stahl bestehenden Masse 0,12 sei; die Verminderung der Temperatur dieser Masse um einen Grad Celsius entspricht einer Wärmemenge von 300 Calorien, oder für einen der beiden Cylinder allein, von 150 Calorien.

Wenn die Temperatur der in einer Minute entströmenden 18 Kilogramm Wasser von $169^{\circ},5$ auf 100° sinkt, so werden etwa 13,25% Dampf gebildet und es verbleiben noch 15,61 Kilogramm Wasser von 100° unter atmosphärischem Drucke zu verdampfen, also für jede Cylinderfüllung ungefähr 32 Gramm Wasser, welche einen Aufwand von 17 Calorien erfordern. Es braucht daher die Masse des Cylinders während jeder Aspirations-Periode nur so viel Wärme, als einer Abkühlung um $\frac{1}{9}$ Grad entspricht, abzugeben, damit alles eingeführte Wasser verdampft werden könne.

Ist die Verdampfung der in einer Minute eingespritzten 18 Kilogramm Wasser eine vollständige, so bilden sich 1. beim Austritte aus dem Kessel 2,39 Kilogramm Dampf, 2. in den Cylindern 15,61 Kilogramm Dampf, deren Volumen zusammen genommen bei 100° gleich 29628 Liter ist, so dass davon auf jede Cylinderfüllung entfallen 60,45 Lit. Das während 40% des Hubes aspirirte Volumen ist 51,05 „
Es verbleibt daher ein Dampf-Ueberschuss von 9,40 Lit.
welcher seinen Ausweg durch den Schornstein suchen muss.

dem sich in Dampf von 7,75 Atmosphären umwandelnden Wasser von 100° absorbirt werden, eine höhere Ziffer annehmen, und das Resultat würde schliesslich dasselbe sein. —

Führt man alle Mengen auf das pro Minute verbrauchte Gewicht zurück, so ergibt sich, dass schliesslich das eingespritzte Wasser folgende Verwendung gefunden hat:

Erforderliche Menge, um die Cylinder abzukühlen	$A = 5,36$	Kilogr.
Erforderliche Menge, um die Cylinder vollends anzufüllen	$B = 9,89$	„
Aus dem Schornstein entweichender Ueberschuss	$C = 2,75$	„
	18,00	Kilogr.

Wie die Erfahrung beweist, stimmt dies mit der Wirklichkeit vollkommen überein. In dem Falle, welchem die vorstehenden Angaben entlehnt sind, und der eben den ersten meiner Versuche bezüglich der alleinigen Einspritzung von Wasser darstellt, ist dem Kessel gar keine Luft zugeführt worden; die Zeiger der beiden daran angebrachten Manometer haben keine Schwankungen gezeigt, der Giffard'sche Injector wurde zu wiederholten Malen mit der gewöhnlichen Leichtigkeit in Thätigkeit gebracht, und es ist aus dem Schornstein fortwährend ein Dampfstrom hervorgekommen; wenn die Admission vermindert wurde, ohne gleichzeitig auch die Einspritzung zu verringern, so kam aus dem Schornstein ein feiner Regen, indem ein Theil des überschüssigen Wassers von dem in den Cylindern gebildeten Dampfe mit fortgerissen wurde.

Es ist leicht begreiflich, dass trotz des langen Weges, den das in das Blaserohr geleitete Gemenge, oder dieser wässerige Nebel, bis zu den Cylindern in manchen Fällen zurückzulegen hat, und obgleich dessen Lauf durch alternirende Dampf-Ausströmungen in jenen Augenblicken unterbrochen wird, einmal wo auf die Expansion die freie Communication mit der äussern Luft folgt und das andere Mal, während die Zurückdrängung des Dampfes stattfindet, das Gemenge dennoch mit Leichtigkeit seiner Bestimmung zugeführt wird, indem sein Volumen für jede Cylinderfüllung nur 9 Liter, dahingegen das Aspirations-Volumen mehr als 51 Liter beträgt; in einem gewissen Augenblicke, nämlich bevor es durch Compression vermindert wurde, ist dieses letztere Volumen sogar noch viel grösser. Der Cylinder versagt erst dann, dieses Gemenge eintreten zu lassen, wenn er bereits vollständig damit angefüllt ist und den Dampf-Ueberschuss erzeugt hat, welcher durch den Schornstein entweicht.

Die Versuche wurden unter den verschiedenartigsten Umständen wiederholt, bei grosser und kleiner Geschwindigkeit, bei voller und sehr geringer Admission, beim Niederfahren auf geneigten Ebenen und im gewöhnlichen Dienste beim Anhalten in den Stationen.

Auf mehreren Eisenbahnen hat man die Einspritzung von Dampf bereits ganz aufgegeben und man öffnet nur noch den Wasserhahn. Die einzige practische Schwierigkeit besteht nur in dem geringen Querschnitte, welchen der Hahn darbieten muss, wenn das in der Minute einzuspritzende Wasserquantum nur wenige Kilogramme betragen soll; die bisher ausgeführten Hähne öffnen sich zu rasch oder haben zu grosse Oeffnungen, so dass es im Falle einer geringen Wassereinspritzung schwierig ist, die Ausflussmenge richtig zu begrenzen und ein Wasserspeien zu verhindern. Man kann übrigens bedeutende Wassermengen einspritzen, ohne dass es einen andern Nachtheil zur Folge hätte, als die Maschine reichlich speien zu machen; dieses Wasser dringt nur bis zu einer gewissen Grenze in die Cylinder und wird durch den aus denselben ausströmenden Dampf nach aussen ausgeworfen.

Es ist nicht ohne Interesse, die Vorgänge in den Cylindern näher zu untersuchen. Die Wassermenge $A + B + C$ wird in Folge der Berührung mit den Metallflächen während der Aspirations-Periode in Dampf verwandelt; wenn sie nicht einen allzu grossen Ueberschuss darbietet, so verdampft sie gänzlich oder nahezu gänzlich. Durch diese Dampfbildung werden der Metallmasse proportionale Wärmemengen entnommen, welche ich mit A_t , B_t und C_t bezeichnen will.

Für die erstere dieser Wärmemengen leistet jene Wärme Ersatz, welche durch die Arbeit des Gegendampfes selbst entwickelt wird; A_t kehrt in Form von Dampf in den Kessel zurück. Für die beiden andern Wärmemengen B_t und C_t hingegen kann ein Ersatz nicht beschafft und das mittlere Gleichgewicht in der Temperatur der Metallmassen nur dadurch hergestellt werden, dass ein Theil des während der Gegendampfadmission vom Kessel gekommenen Dampfes condensirt wird. Hieraus folgt, dass der trocken oder einfach nur gesättigt aus dem Kessel gekommene Dampf mit in der Schwebe gehaltenem Wasser geschwängert dahin zurückkehrt und dass die Metallflächen beständig von wässerigem Dampfe umgeben und angefeuchtet werden. Daher kommt es denn auch, wenn die Maschine sogar bei voller Admission und bei übermässigen Geschwindigkeiten nur mit alleiniger Wassereinspritzung läuft, dass die Stopfbüchsen-Packungen durchaus unbeschädigt bleiben, dass die Kolbenstangen nicht einmal trocken werden, dass die Reibungsflächen einen sehr schönen Schliff annehmen, dass die Handhabung der Umsteuerung sehr leicht vor sich geht u. s. w. Dieselben Wirkungen finden theilweise oder in genügender Weise statt, wenn man, wie es gegenwärtig üblich ist, gleichzeitig Wasser und Dampf einspritzt, jedoch

nur dann, wenn das Wasser vorwiegend in Anwendung gebracht wird. Durch meine Beobachtungen glaube ich zu dem Schlusse berechtigt zu sein, dass man bei voller Admission oder bei den dieser zunächst gelegenen Stellungen des Steuerungshebels nur dann günstige Arbeitsbedingungen erlangen kann, wenn man es gänzlich vermeidet, dem aus dem Kessel entnommenen Wasser noch Dampf hinzuzufügen. Ich stehe sogar nicht an, die Ansicht aufzustellen, dass man in systematischer Weise dahin gelangen wird, jedesmal, wenn man beim Anhalten in den Stationen vom Gegendampfe Gebrauch macht, das Wasser im Uebermasse einzuspritzen, um die während des directen Ganges zwischen den Stationen angegriffenen Reibungsflächen der Kolben und Schieber wieder in guten Stand zu setzen.

Ich werde im folgenden Abschnitte erörtern, welche die Folgen einer systematischen und übermässigen Dampf-Injection sind.

§. 4. Einspritzung von Wasser und Dampf.

Die Anwendung des neuen Systems der Umkehrung des Dampfes hat mit einem Gemenge von Dampf und Wasser angefangen und sich bis in die letzte Zeit ausgebildet.

Die Ingenieure, denen ich die Anstellung der ersten Versuche anvertraut hatte, haben sich der Idee, Wasser in den Cylinder einzuspritzen, nur ungern angeschlossen und immer getrachtet, diese Nothwendigkeit, welche dennoch bald durch die Erfahrung nachgewiesen wurde, zu umgehen. Dieses verursachte Schwierigkeiten, welche die Erfolge, welche man von der Einführung des Gegendampfes in Spanien, wo die ersten Versuche gemacht wurden, hätte erwarten können, bis jetzt gehindert haben.

In Frankreich haben die Ingenieure die Nothwendigkeit des Wassers besser eingesehen und davon einen reichlichen Gebrauch mit befriedigendem Erfolge gemacht; aber bis zu dem Augenblicke, wo ich Gelegenheit fand, diese Frage zu erörtern und die Richtigkeit meiner ersten Ideen zu prüfen, wurde der Dampf überall als nothwendiges Mittel angesehen und auch in grösserer oder kleinerer Menge verwendet. Man war der Meinung, dass der Dampf die Bestimmung habe, den Cylinder in der Periode des Saugens auszufüllen und gleichsam dem Wasser, welches mit ihm hinter dem Kolben in der Periode der Compression und der Zurückdrängung eingeschlossen sei, als Beförderungsmittel zu

dienen; man setzte voraus, dass das hergeleitete Kesselwasser unmittelbar den Zweck habe, die Wärme nach Massgabe ihrer Bildung zu absorbiren. Indem ich, wie es im vorhergehenden Abschnitte geschehen ist, gezeigt habe, dass sich das Wasser, sobald es gerade während der Periode des Saugens in die Cylinder eintritt, sofort in Dampf verwandelt, bin ich zu dem Schlusse geführt worden, dass es nicht allein nicht nützlich wäre, den bereits im Kessel vollends gebildeten Dampf zu verwenden, sondern dass die Hinzufügung des Dampfes zum Wasser bis zu einer gewissen Grenze sogar schädlich werden könnte. Man kann sich leicht hierüber Rechenschaft geben, wenn man auf das im vorhergehenden Paragraphen angeführte Beispiel zurückkommt.

In diesem Falle beträgt die Einspritzung 18 Kilogramm, deren Verwendung auf folgende Art vertheilt ist:

<i>A</i> Absorbirung der entwickelten Wärme	5,36 Kg.
<i>B</i> Vollendung der Füllung des Cylinders	9,89 „
<i>C</i> Bildung einer Wolke am Rauchfang	2,75 „

Wenn man die Hälfte des Wassers durch Dampf ersetzt, also eine Einspritzung von 9 Kilogramm Wasser und 9 Kilogramm Dampf vornimmt, so verliert man von diesem Gemenge, um die Wolke über dem Rauchfang zu bilden, 2,75 Kilogramm, worunter 1,37 Kilogramm Wasser; in den Cylinder dringen also nur 7,63 Kilogramm Wasser, wovon $A = 5,36$ Kilogramm zur Absorbirung der entwickelten Wärme verwendet werden und als Dampf in den Kessel zurück gehen; es bleiben daher blos 2,27 Kilogramm, deren Verdampfung ein Niederschlagen von Wasser in dem Raume, wo die Compression und das Zurückdrängen stattfindet, veranlasst; der in den Kessel zurückkehrende Dampf wird zum Schaden der reibenden Flächen weit weniger feucht sein.

Unterstellt man, dass man $\frac{1}{3}$ Wasser und $\frac{2}{3}$ Dampf einspritze, so wird das aus dem Rauchfang entweichende Gemenge 0,92 Kilogramm Wasser mit sich reissen und es bleiben davon nur 5,08 Kilogramm, welche Menge nicht hinreichend ist, um die Cylinder vollständig abzukühlen.

Damit diese Berechnungen genau wären, müsste man den Saugraum genau berechnen; indem ich denselben zu 40% vom gesammten Raume annahm, machte ich eine reichliche Schätzung; es kann indessen der Saugraum, je nach der Art und Weise der Dampfvertheilung und der Grösse des schädlichen Raumes kleiner oder grösser werden; nehmen wir an, das Verhältniss erreiche nur 30%, also 38,40 Liter, so repräsentirt die Einspritzung von $\frac{1}{3}$ Wasser und $\frac{2}{3}$ Dampf, 6 Kilogramm

Wasser, eine Menge, die zur Abkühlung der Cylinder hinreichend zu sein scheint, und 12 Kilogramm Dampf. — Aber das Volumen einer Cylinderfüllung wird nur noch 38,40 Liter sein und die 60,45 Liter Dampf, welche zum Saugen bestimmt waren, geben einen Ueberschuss von 22,05 Liter oder 35 $\frac{0}{10}$; es werden daher 2,10 Kilogramm Wasser mitgerissen und die zurückgebliebene Menge würde zur Verhinderung der Erhitzung ganz unzureichend sein.

Man sieht aus diesem Beispiel, dass die Substituierung des Dampfes an die Stelle von Wasser den Dampf, der aus dem Cylinder in den Kessel zurückgeht, jedenfalls weniger feucht macht; ebenso verhält es sich übrigens auch mit demjenigen, der aus dem Ausströmungsrohre in die Cylinder kommt; es folgt hieraus, dass die reibenden Flächen trockener und die Reibungen bedeutender werden. Dieser Nachtheil wird desto fühlbarer, je mehr Dampf im Verhältniss gebraucht wird. — Es tritt endlich ein Augenblick ein, wo der Dampf einen Theil des zur Absorbirung der Wärme unumgänglich nothwendigen Wassers abführt und wo unfehlbar Erhitzung entstehen muss, ungeachtet dass grosse Mengen Dampfes durch den Rauchfang entweichen und dass keine Gase aus dem Rauchkasten hinzutreten. Dieselben Erscheinungen zeigen sich, wenn man nur ausschliesslich Dampf hinzulässt.

Wenn daher die Mitwirkung des Dampfes bei Anwendung des Gegendampfes nicht durch besondere Bedingungen, die ich gleich anführen werde, motivirt ist, so gewährt sie keinen Nutzen und ist immer mehr oder weniger, namentlich schon dadurch schädlich, dass die Reibungen vergrössert und in Folge dessen, die Abnützung der Bestandtheile befördert und endlich die Schmierungs-Kosten, welche bei alleiniger Einspritzung von Wasser entfallen, gesteigert werden. — In der Regel soll man dem Wasser möglichst wenig Dampf beifügen; der wasserhaltige Nebel, welcher sich beim Ausströmen des Kesselwassers bildet, entspricht eben diesem Minimal-Verhältnisse.

Bezüglich der aus dem Schornstein ausgestossenen Dampfmenge, welche einem Wärmeverluste entspricht, der durch einen grössern Brennstoff-Verbrauch im Feuerkasten wieder ersetzt werden muss, ist noch zu bemerken, dass die Einspritzung von Wasser allein die vortheilhaftesten Bedingungen, im Vergleiche zur Einspritzung eines Gemenges von Wasser und Dampf darbietet. Die Dampf Wolke am Rauchfang wird, bei gleichem Verbrauche, jederzeit besser hervortreten, wenn man nur Wasser einspritzt; der Dampf wird feuchter, flockiger, als wenn eine gewisse Menge Wassers beim Austritte aus dem Kessel durch Dampf

ersetzt wird. Bei sehr trockener Witterung kann der Dampfverlust durch den Rauchfang im letzteren Falle ein sehr bedeutender sein, ohne dass er vom Maschinisten bemerkt wird.

Wenn man in der Anwendung des Gegendampfes nur ein Mittel zum Anhalten beim Verschiebungsdienst in den Stationen, oder im Falle eines plötzlich drohenden Unfalles sucht, so ist die Einspritzung von Wasser allein, oder im starken Verhältniss mit dem Dampf vermengt, keine Nothwendigkeit mehr, welche durch die Fürsorge für die gute Erhaltung der reibenden Flächen geboten wäre, und man kann dann sogar blos Dampf verwenden. Directe Versuche haben gezeigt, dass wenn man in das Ausströmungsrohr blos Dampf leitet, die Hanf-Liderungen der Stopfbüchsen, bei einer gleichförmigen Geschwindigkeit von 30 Kil. in der Stunde, erst nach einem zurückgelegten Wege von 5 Kilometer, also nach 10 bis 12 Minuten zu brennen anfangen. Gibt man Gegendampf, um den Zug aufzuhalten, so kann man annehmen, dass der Stillstand in einer oder zwei Minuten bewirkt wird, bevor noch die Packungen in merklicher Weise beschädigt, oder die Reibungsflächen angegriffen worden sind.

Man kann selbst, im Falle eines plötzlich erhaltenen Haltesignals, oder einer drohenden Gefahr, die Vergrösserung der Reibungen als einen für das Anhalten vortheilhaften Umstand ansehen, und sie als ein zur Widerstandsfähigkeit der Maschine hinzugefügtes Kraft-Element erachten.

Wenn die Admission schwach ist, wenn sie z. B. während 15 bis höchstens 30% des Hubes stattfindet, so sieht man, wie es die unter verschiedenen Umständen aufgenommenen Diagramme der Tafel II darthun*), dass die Arbeit der Widerstände sehr gering wird; bei einer gewissen Grenze, Fig. 9, wird die Widerstandsarbeit gleich Null und kann in Folge der Grösse, welche die Expansion des nassen, im schädlichen Raume eingeschlossenen Dampfes erreicht, sogar in Antriebsarbeit übergehen.

Man kann daher bei Anwendung des Gegendampfes strenge genommen noch mit alleiniger Dampfeinspritzung vorgehen, ohne die einzelnen Organe der Maschine zu schädigen, wenn ein geringer Widerstand hinreicht, um die Geschwindigkeit eines leichten Zuges auf einer 10 bis 12 Millimeter pr. Meter geneigten Bahn oder eines schweren Zuges bei einer schwächeren Neigung zu moderiren.

*) Das Diagramm No. 4 wurde bei Wassereinspritzung aufgenommen, während der Regulator aus Versehen geschlossen blieb.

Tritt eine Erhitzung ein, so setzt ihr die äussere Abkühlung eine Grenze. — Ebenso kann man mittelst Gegendampf auf einer sehr starken aber sehr kurzen Neigung fahren.

Gleichwohl scheint mir das Vorgehen mit der alleinigen Einspritzung von Dampf in diesen besonderen Fällen nicht anempfehlungswürdig. Es würde besser sein, aus zwei mit einander verbundenen, durch eine einzige Bewegung aufschliessbaren Hähnen ein Gemenge von Dampf und Wasser in einem, den Dienstanforderungen angepassten Verhältnisse einzuspritzen, während die Verwendung von Wasser allein oder in hervorragender Menge in systematischer Weise jedesmal dann zu geschehen hätte, wenn die Maschine eine bedeutende und andauernde Widerstandsarbeit ausführen soll.

Besonders bei untergeordneten Dienstleistungen kann der Dampf mit Nutzen angewandt werden.

In dem Augenblicke, wo der Gegendampf in Thätigkeit tritt, kann das Einspritzrohr, welches nothwendiger Weise verschiedenartige Krümmungen darbietet, condensirtes, an einer tiefern Stelle angesammeltes Wasser enthalten und es könnte von Nutzen sein das Rohr auszu-leeren, um das Eindringen einer gewissen Menge flüssigen Wassers in die Cylinder zu verhindern.

Im Augenblicke, wo der Zug anfängt mittelst Gegendampf auf einer schiefen Ebene hinunterzufahren, kehrt der Maschinist den Dampf nur allmählig um, bis die Geschwindigkeit die gehörige Grösse erreicht hat; die Einspritzungen für die erste Admissionsrast sollen sehr schwach sein; dann sollen sie allmählig stärker werden bis zu dem zu erreichenden Admissionspunkte, um welchen herum nur noch mehr oder weniger grosse Variationen nothwendig sind, um die Geschwindigkeit gleichförmig zu erhalten. In diesem Falle ist es bequem mit einer Dampfeinspritzung allein anzufangen, dann abzuwarten bis die Admission z. B. auf der 2. oder 3. Rast angelangt ist und den Einspritzhahn für Wasser nur in einem oder in zwei Malen aufzumachen, und dabei das Einspritzen des Dampfes in dem Augenblicke abubrechen, wo die Einspritzung des Wassers regelmässig vor sich geht.

Es kann vorkommen, dass der Druck im Kessel im Augenblicke der Ankunft an der schiefen Ebene sehr niedrig ist; das aus dem Kessel kommende Gemenge von Dampf und Wasser kann zu viel Wasser und zwar in grossen Tropfen mit sich führen. In diesem Falle kann es vortheilhaft sein dasselbe wieder zu erwärmen, indem man etwas Dampf aus dem Kessel hinzufügt und auf diese Art dem Gemenge eine

grosse Geschwindigkeit im Rohre ertheilt, wodurch eine Zertheilung des Wassers und Pulverisirung der mitgeführten grossen Tropfen bewirkt wird.

Eine Maschine kann in den Fall kommen bald bei grosser, bald wieder bei sehr kleiner Admission mit Gegendampf zu arbeiten; das Zuleitungsrohr, welches darauf eingerichtet ist, um eine grosse Menge Wassers oder wässerigen Dampfes einspritzen zu können, wenn die Maschine mit vollem Widerstande arbeitet, kann für eine schwache Einspritzung zu weit sein, so dass das Gemenge eine zu geringe Geschwindigkeit erlangt und eine gewisse Condensation erfahren kann; in diesem Falle kann es ebenfalls gut sein, das Gemenge mit Dampf zu versetzen.

Will man endlich den Zug mittelst Gegendampf aufhalten, was man zur Dienstregel annehmen sollte, so muss man zuerst die Einspritzung des Wassers aufmachen oder verstärken, während man gleichzeitig die Admission des Gegendampfes bis zum höchsten Grade steigert, und sie dann allmählig vermindern, bis der Stillstand erreicht ist. Würde man auf diese Art bis zu Ende fortfahren, so würde ein Zeitpunkt kommen, wo bei sehr verminderter Geschwindigkeit des Zuges das eingespritzte Wasser einen grossen Ueberschuss darböte, so dass es sich in den Räumlichkeiten der Dampfwege und des Ausströmungsrohrs ansammeln könnte; in einem solchen Falle wäre es besser, den Gang damit zu beenden, dass man die Dampfeinspritzung öffnet und vor dem vollständigen Stillstande die Wassereinspritzung ganz unterbricht.

In keinem dieser Fälle ist die Dampfeinspritzung unumgänglich nothwendig; ein mehr oder weniger kleiner, vom Kessel in das Einspritzrohr geleiteter Wasserstrahl könnte hinreichen; eben so wenig ist die vorläufige Entleerung des Zuleitungsrohres eine Nothwendigkeit. Aber die Dazwischenkunft des Dampfes kann die Manipulationen vereinfachen und günstig auf den Dienst einwirken.

Es gibt schon jetzt Maschinisten, welche bei der noch allgemein in Gebrauch stehenden Anwendung von Wasser und Dampf aus sich selbst und ohne in dieser Beziehung Weisungen erhalten zu haben, den Wasserhahn schliessen und nur den Dampfahn geöffnet lassen, wenn bei Annäherung an eine Station der Stillstand zur Hälfte oder zu drei Viertel erreicht ist.

Andere Maschinisten schliessen, bei einem mit Wasser und Dampf organisirten Dienste, den Dampfahn, wenn die Niederfahrt auf einer schiefen Ebene im vollen Gange ist.

Ich bin auf die alleinige Wassereinspritzung mehr eingegangen, um die Frage bezüglich des Gegendampfes recht verständlich zu machen;

nichts desto weniger empfehle ich die Anwendung von zwei Einspritzhähnen, bei welchen der Dampfahn nur eine Nebenrolle spielt.

Mechanische Ausführung.

Die Vorrichtung, welche es ermöglicht, die Locomotive bei regelmässigem Gange mit Gegendampf arbeiten zu lassen, ist ebenso einfach, als das Princip selbst des neuen Systemes; das Ganze reducirt sich auf ein Rohr von 20 oder 25 Millimeter bis 30 oder 40 Millimeter Durchmesser (vorzuziehen sind 20 bis 25 Millimeter oder ein Wiener Zoll) welches die Communication zwischen dem Kessel und dem Ausströmungsrohre herstellt, und auf einen Vertheilungshahn, der vom Maschinisten gehandhabt wird, um die Ausflussmenge zu regeln.

Wenn man, wie ich es anrathen, obgleich es nicht unumgänglich nothwendig ist, im Stande sein will, abwechselnd oder gleichzeitig Wasser und Dampf einspritzen zu können, so bringt man einen zweiten Hahn mit einem kurzen Rohr an, welches sich mit dem ersten Rohre in geringer Entfernung von dem Ausgangspunkte verbindet. — Das eine der beiden Rohre nimmt seinen Ursprung im Kessel unter dem niedrigsten Wasserstande, der je erreicht werden kann, das andere so hoch über dem Wasserstande, dass kein Wasser durch Saugen mitgerissen werden kann.

Wenn die Maschinen aussenliegende Cylinder haben, so theilt sich das Ausströmungsrohr in zwei Arme; dem entsprechend erhält dann auch das Einspritzrohr zwei Aeste, von denen jeder in einen der Arme des Ausströmungsrohres einmündet. — Die Verästelung muss vollkommen symmetrisch sein, damit das im Dampfe schwebende oder noch zum Theil flüssige Wasser nicht der geradesten Linie folge, und damit dessen Vertheilung nach beiden Cylindern eine gleiche sei. — Die Fig. 3, Taf. I, zeigt zwei verschiedene Arten der Anordnung dieses Rohres behufs seiner Verbindung mit dem untern Theile des Ausströmungsrohres; man kann jedoch in dieser Beziehung die verschiedenartigsten Combinationen wählen.

Die Fig. 4, Taf. I, zeigt die Hauptdisposition einer Verästelung des Einspritzrohres, insofern eine solche benöthigt wird; es ist zweckmässig hierzu ein genau bearbeitetes, aus Bronze hergestelltes Stück zu verwenden, welchem ein möglichst langes und gerades Rohr vorangehen soll. — Die im Dampfe schwebenden Tropfen flüssigen Wassers trachten, vermöge der ihnen inwohnenden Trägheit und ihrer verhältnissmässig erheblichen Bewegungsgrösse, sich in gerader Linie fort zu bewegen; eine unsym-

metrische Verästung würde daher eine ungleichmässige Vertheilung des Wassers zur Folge haben. Endlich ist es von Wichtigkeit, dass die beiden Aeste des Einspritzrohres dieselbe Länge, dieselbe Form und besonders denselben Querschnitt erhalten; in Folge dessen ist es zweckmässig das Rohr unter der Mitte des Kessels oder, wenn der Platz es erlaubt, über dem Rücken des Kessels herzuführen, damit die Verästung in gleicher Distanz von beiden Cylindern zu stehen kommt. — Man könnte versuchen wollen, einen Fehler in der Symmetrie durch eine Ungleichheit der Querschnitte zu compensiren; allein es ist in der Regel besser die Länge des Hauptrohres ein wenig zu vermehren, um einen Punkt zu erreichen, von dem aus eine vollkommen symmetrische Disposition möglich ist.

Nachdem man diese erste Bedingung erfüllt hat, muss man Hähne oder Vertheilungsschieber anbringen, mittelst welcher man die Einspritzungen, besonders die des Wassers, allmählig ändern kann. Für letztere liegt die Schwierigkeit in dem sehr kleinen Querschnitt, den man der Ausflussöffnung geben können muss. Eine Oeffnung von 6—10 □ Millimeter reicht im allgemeinen zum Ausflusse der practisch benöthigten Menge Wassers aus dem Kessel hin, und nur in ausserordentlichen Fällen braucht man bis zu 25 Kilogramm per Minute zu gehen.

Als Beispiel der Verbrauchsmenge will ich die Resultate sorgfältig ausgeführter Messungen auf einer Maschine der französischen Nordbahn anführen, welche mit einem Vertheilungsschieber (System Marié) versehen ist, dessen Oeffnung eine Breite von 4 Millimeter hatte und wo der Durchmesser des Einspritzrohres im grössten Theil seiner Länge 40 Millimeter war. Der absolute Druck im Kessel war 8 Atmosphären.

Hub des Schiebers in Millimetern	Querschnitt der Oeffnung in Quadratmillimetern	Ausflussmenge in Kilogrammen pr. Minute
1,5 Mm.	6 □ Mm.	14,0 Kilogr.
2,5	10 .	21,5
3,5	14 .	27,5
4,5	18 .	33,0
5,5	22 .	36,0
6,5	26 .	42,0
11,5	46 .	62,0
26,5	106 .	83,0

Bei einer gewissen Grenze hängt die Ausflussmenge hauptsächlich von der Länge, den Biegungen und insbesondere von dem Querschnitte des Rohres ab. — Die Versuche, welche ich an der mit diesem Apparate versehenen Maschine anstellte, wurden durch die Kleinheit der Intervalle erschwert, in welchen es möglich war, den Schieber bei Regelung der Ausflussmengen zu bewegen; es wurden oft 30 bis 40 Kilogramm in der Minute eingespritzt, wo 15 bis 20 Kilogramm hinreichend gewesen wären.

Bei Anwendung eines Schiebers rathe ich, der Oeffnung höchstens eine Breite von einem Millimeter zu geben, wodurch ein Schieberhub von 15 bis 20 Millimeter ermöglicht wird, und die Stellung des Schiebers vermöge eines an dessen Stange angebrachten, auf einer eingetheilten Scala sich bewegenden Läufers leicht beobachtet werden kann. Wenn die am Ende mit einem Schraubengewinde versehene Schieberstange mittelst einer Mutter und Kurbel angetrieben wird, und wenn die Höhe eines Schraubenganges z. B. 5 Millimeter beträgt, so wird der Maschinist 3 bis 4 ganze Umdrehungen zu machen haben und er kann dann die Einspritzung sehr allmählig und so zu sagen mit geschlossenen Augen regeln; macht er eine Viertels-Umdrehung mehr oder weniger, so wird der Verbrauch nur um 1 oder 2 Kilogramm verändert.

Man kann auch eine andere Disposition treffen, welche vom Civil-Ingenieur Herrn Brüll angegeben wurde; bei dieser wird der Schlitz, welcher die Ausströmungsöffnung bildet, durch eine Reihe von Löchern ersetzt, die nach und nach vom Schieber aufgedeckt werden. Der Maschinist würde also mit 4 — 5 — 10 Löchern einspritzen.

Für die Dampfeinspritzung besteht eine derartige Schwierigkeit nicht, da eine Oeffnung von einem Quadrat-Centimeter bei gewöhnlichem Kesseldrucke nicht mehr als 4 bis 5 Kilogramm Dampf durchlässt.

Bei der Anwendung des Gegendampfes ist es, besonders im Anfange, zweckmässig, einen vervollkommeneten Einspritzapparat zu haben, der die ausgeströmten Wasser- und Dampfmen gen genau zu beurtheilen erlaubt, bis das Auge des Maschinisten die nöthige Uebung erlangt hat, um nach dem Anscheine des aus dem Schornstein kommenden Dampfstromes oder der Dampf wolke zu ermessen, ob eine Vermehrung oder Verminderung der Ausflussmengen nöthig sei. Wenn nur Wassereinspritzung angewendet wird, so kann es der Maschinist bei einiger Aufmerksamkeit dahin bringen, dieselbe beinahe ohne jeden Dampfverlust durch den Rauchfang zu vollführen und dadurch Brennmaterial ersparen. — Die Gewichtsmenge Wassers, welche erforderlich ist, um die während der Arbeit

des Gegendampfes entwickelte Wärme zu absorbiren, ist nur ein Bruchtheil von jener, welche in den Cylinder eindringt; ein Rücktreten der Verbrennungsgase in die Cylinder, welches durch das Verschwinden der Dampf Wolke sogleich angezeigt wird, hat nur den Nachtheil, dass fixe Gase in den Kessel eindringen; für Maschinen, welche während des Ganges mittelst gewöhnlicher Pumpen gespeist werden, fällt dieser Nachtheil ganz weg; werden dagegen Giffard'sche Dampfstrahl-Pumpen dazu verwendet, deren Thätigkeit unterbrochen oder verhindert würde, so könnte leicht dadurch Hülfe geschafft werden, dass man entweder den Dampfbläser während einiger Secunden öffnet oder den Steuerungshebel während einiger Radumdrehungen wieder auf den Vorwärtsgang verstellt, um die Gase herauszubringen.

Der Apparat, welchen ich vorzugsweise zur Anwendung anempfehle, ist der von Herrn Marié, welcher auf den meisten französischen Maschinen angewendet ist. Er besteht aus einem Kasten aus Bronze, der der Länge nach durch eine Scheidewand in zwei Räume getheilt ist, wovon der eine wieder durch eine andere Scheidewand der Quere nach in zwei Theile getheilt wird. — In den einen dieser beiden letztern Räume wird Kesselwasser, in den anderen Dampf geleitet; jeder derselben steht mit dem danebenliegenden Raume durch eine, in der Hauptscheidewand angebrachte Oeffnung oder durch einen verticalen Schlitz in Verbindung, welcher durch einen Schieber überdeckt wird, dessen Stange an ihrem Ende ein Schraubengewinde hat und mittelst einer, auf einer eingetheilten Scheibe beweglichen Schraubenmutter verschoben werden kann. Letztere wird durch eine Kurbel angetrieben und trägt einen Zeiger, der sich auf einer eingetheilten Scheibe bewegt. Jeder Schieber entblösst die Oeffnung um so viel, als dem Wasser- oder Dampfquantum entspricht, welches der Maschinist erhalten will. Wasser oder Dampf, oder beide zugleich, dringen in den nicht getheilten Hauptraum, in welchem sich entweder das Wasser in Emulsion oder wässerigen Nebel verwandelt, oder, wenn Wasser und Dampf zugleich verwendet wird, das Gemenge beider gebildet wird. Von diesem Raume geht das Einspritzrohr aus, welches sich längs der Seiten des Kessels hinzieht und in das Ausströmungsrohr einmündet. — Jede Schieberstange trägt einen Läufer, welcher auf einem mit dem Kasten aus einem Stücke gegossenen eingetheilten Lineal den Hub des Schiebers anzeigt; ein Theilstrich des Lineales entspricht einer oder zwei Schrauben-Umdrehungen und der Zeiger an der Schraubenmutter gibt die Bruchtheile an.

Dieser sehr vollständige und doch kleine Apparat könnte nur auf einem grossen, ausser Verhältniss zu dieser Schrift stehenden Blatte gezeichnet werden; um den Ingenieuren, welche denselben im Detail kennen lernen wollen, dazu Gelegenheit zu bieten, habe ich die Pläne, welche Herr Marié zu meiner Verfügung zu stellen die Güte hatte, den Secretären der Institute für Civil-Ingenieure in London und Glasgow, sowie auch der Direction der k. k. priv. österreichischen Staats-Eisenbahn-Gesellschaft in Wien zugeschickt.

Die einzige Aenderung, die ich an diesem, für die gleichzeitige Einspritzung von Wasser und Dampf eingerichteten Apparate zu machen empfehle, ist: Die Breite der Oeffnung für den Ausfluss des Wassers von 4 Millimetern auf 1 Millimeter zu reduciren, oder an der Stelle der Schlitz-Oeffnung eine Reihe runder oder viereckiger Löcher zu bohren, um die ganze Hublänge zu vergrössern. — Ich schlage auch vor, den Schraubengang von $2\frac{1}{2}$ Millimeter auf 5 Millimeter zu erweitern, wie dies bereits beim Dampfschieber der Fall ist; dies würde nebst andern Vortheilen auch den bieten, dass beide Stangen nach demselben Muster angefertigt werden könnten.

Auf den Dampfrohren, welche die Verbindung zwischen dem Kessel und dem vorerwähnten Distributionskasten herstellen, sind Sicherheits-hähne angebracht.

Die Einspritzung kann mittelst gewöhnlicher Hähne geschehen, indem man an ihrem Schlüssel einen Zeiger anbringt, welcher sich an einem eingetheilten Kreissegmente bewegt und dadurch die, einem jeden Oeffnungsgrad entsprechende Wasser- oder Dampf-Ausflussmenge erkennen lässt. Für die Wassereinspritzung jedoch muss man noch besonders mit Vorsicht vorgehen, um den Verbrauch zu mässigen, und ihn äussersten Falles bei vollständiger Oeffnung nur bis zu 25 bis 30 Kilogramm gehen zu lassen; es ist daher die Einrichtung so zu treffen, dass der Zeiger einen grossen Weg auf dem Gradbogen machen kann.

Ich will nachstehend die Resultate mittheilen, welche mit einem auf gewöhnliche Weise construirten Hahne erzielt wurden, und bei welchem die Oeffnung des Kernes oder des Kegels in der Richtung der Achse verlängert ist (Breite des Schlitzes 8 Millimeter, Länge 10 Millimeter und totaler Querschnitt 80 Quadratmillimeter; Durchmesser des Rohres jenseits des Hahnes 14 Millimeter auf einer Länge von 50 Centimeter und dann 26 Millimeter, effectiver Druck 8 Kilogramm per Quadrat-Centimeter):

Oeffnung des Hahnes in Millimetern	Querschnitt der Oeffnung in Quadratmillimetern	Ausflussmenge des Wassers in 1 Minute in Kilogrammen
0,5	5	5,80
1,0	10	12,37
1,5	15	19,67
2,0	20	27,57
2,5	25	35,77
3,0	30	44,12
4,0	40	61,00
5,0	50	77,88
6,0	60	94,45
7,0	70	109,65

Sobald der Zeiger um einige Grade auf dem Bogen gedreht wurde, überschritt die Ausflussmenge schon die erforderliche Maximaleinspritzung.

Der Schlitz, der dem Wasser als Ausgang dient, soll in der Richtung der Achse des Kegels sehr schmal sein und in der darauf senkrechten Richtung sich ausbreiten; dem entsprechend muss daher, statt eines kleinen, ein Hahn von grösserem Durchmesser angewandt werden.

Wenn der Gegendampf nur als Bremse zum Aufhalten des Zuges dienen soll, so können die beiden Hähne mittelst einer Kupplungsstange mit einander verbunden werden, nachdem man durch Versuche und fortgesetzte Adjustirungen den betreffenden Ausflussöffnungen die gehörigen Verhältnisse gegeben hat. — Es wäre wohl möglich einen, dem Distributionskasten des Herrn Marié nachgeahmten Hahn mit doppelter Einspritzung zu combiniren, indem man in dessen Kegel zwei Schlitzze oder Oeffnungen einschnitt, welche beide nach oben mit je einem abgesonderten Raume communicirten, in welchen einerseits Wasser, andererseits Dampf geleitet würde, unterhalb hingegen mit einem Mischungs- und Ausgangskasten in Verbindung träten.

Ich beschränke mich darauf bezüglich dieser Anordnung nur eine Andeutung zu geben, welche einem intelligenten Zeichner ohne Zweifel hinreichen wird, um darnach einen bequemen und leicht zu handhabenden Apparat zu construiren.

Endlich könnte man Ventilhähne anwenden; Herr Forquenot, Chef-Ingenieur der Eisenbahn von Paris nach Orléans, arbeitet an der Zusammenstellung eines Ventilhahnes oder besser eines Hahnes mit koni-

schem Stifte, ähnlich jenem am Einspritzrohre der Giffard'schen Dampfstrahl-Pumpe; diese Disposition, welche der Schraube bei kleiner Vergrößerung der Ausflussöffnung einen grossen Hub erlauben würde, lässt gute Resultate erwarten.

Bei Anbringung eines Apparates für Gegendampf an einer Maschine ist es wichtig die durch den Apparat gewährte Ausflussmenge zu messen; will man einige Genauigkeit erreichen, so muss dies an einem completeen Apparat sammt Verästungen, insofern deren vorhanden sind, und bei vollständiger Condensation des Dampfes geschehen. Man nimmt die Röhren ab, setzt einen Ansatz an, der dieselben Biegungen besitzt und taucht jedes der beiden Enden um einige Centimeter in ein besonderes, mit kaltem Wasser gefülltes und auf einer Brückenwage stehendes Gefäss. Hat der Kessel seinen normalen Druck erreicht, so öffnet man während einiger Minuten den Hahn oder den Einspritzschieber und erhält, wenn die Wage im voraus ausgeglichen wurde, die Ausflussmenge aus jedem der beiden Aeste. Diese Operation wird für jeden Theilstrich des Verbrauchsmassstabes, sowohl für das Wasser als auch für den Dampf, — und wenn man will, auch für verschiedene Gemenge von Wasser und Dampf wiederholt. — Man kann sich auf diese Art überzeugen, ob die Vertheilung unter den beiden Aesten eine gleiche ist.

Richtet man gleiche Apparate auf gleichartigen Maschinen ein, so kann man sich bei jedem derselben auf wenige Verifikationen beschränken.

Die Constatirung des Verbrauches kann in sehr summarischer Weise geschehen, indem man sie zum Beispiel nur für zwei in der Nähe der Enden der Scala gelegene Punkte vornimmt; hat man hierfür die Resultate bestimmt, so kann man für die dazwischenliegenden Theilstriche die Ausflussmenge im Verhältnisse zum Querschnitte der Ausflussöffnung annehmen.

Man hat angenommen, dass die Ausflussmengen von Wasser und Dampf, wenn sie jede für sich ausfliessen, sich summiren, wenn man ein Gemenge beider von je demselben Grade einspritzt und dass nur ein kleiner Verlust bemerkbar ist, der etwa 5% von jeder Menge ausmacht; dieser Punkt bedarf noch der Aufklärung, ist aber von wenig Belang, wenn man beim Hinunterfahren auf einer schiefen Ebene nur Wasser zur Einspritzung verwendet, und wenn die regelmässige Beimengung von Dampf, wie ich es vorschlage, sich nur auf Personenzug-Locomotiven mit unabhängigen oder gemischten Rädern beschränkt, um sie mit einer Bremse zum Anhalten zu versehen.

Die Wahl der Stelle, an welcher das Einspritzrohr oder dessen Aeste in das Ausströmungsrohr einzumünden haben, ist nicht ganz gleichgültig. Die Fig. 3, Tafel I, stellt gleichzeitig zwei solche Combinationen dar; bei der einen befindet sich die Einmündung auf den Verästungen des Ausströmungsrohres selbst und der wässerige Dampf hat dann zwei Verengungen zu traversiren, um in die Cylinder zu gelangen, nämlich einmal an dem Theile der Verästung, welcher sich dem Cylinder anschmiegt, und das andere Mal in den Admissionsöffnungen; dieser sehr feuchte Dampf gelangt erst dann in das Innere der Cylinder, wenn der mehr oder weniger trockene Dampf zu Ende der Expansion und zu Ende des Zurückdrängens hinausgetrieben worden ist; wird zu viel Wasser eingespritzt, so wird es durch das Ausströmungsrohr und den Rauchfang hinausgeworfen. Bei der anderen Combination befindet sich die Einmündung unter dem Schieber selbst, in der Seitenwand des Ausströmungscanals; der wässerige Dampf hat nur die Verengerung der Schieberöffnungen zu durchziehen, wobei ein Theil im Augenblicke des Saugens direct eintritt, und der andere Theil sich mit dem ausgestossenen Dampfe vermischt und theilweise in den Cylinder zurückkehrt, theilweise durch das Ausströmungsrohr entweicht. Die Erfahrung zeigt in der That, dass bei gleicher Einspritzung im ersten Falle mehr Wasser durch den Rauchfang hinausgeworfen wird und auf die Maschine niederfällt, als im zweiten. Es ist anzunehmen, dass dies daher rührt, dass mehr Wasser in die Cylinder eintritt, dass sich mehr Dampf bildet und dass schliesslich die geringere nach aussen ausgeworfene Wassermenge sich in einer grössern Menge Dampfes vertheilt findet.

Diese Erscheinungen sind von Wichtigkeit, wenn man das Wasser im Uebermass einspritzt, wie dies bei Hähnen von unzureichendem Hube vorkommt; der Maschinist kann sich vor dem Rücktritt der Luft wegen zu kleiner Oeffnung des Hahnes nur dadurch sichern, dass er den correspondirenden Theilstrich der Scala überschreitet; aber eine Ueberschreitung um einige Zehntel von Millimetern gibt ihm sofort einen Ueberschuss an Wasser.

Anders verhält es sich, wenn man dem Hahne innerhalb der Grenze der wirklich nothwendigen Einspritzungen für die Maximalarbeit des Gegendampfes einen grossen Hub gibt. In dem von mir angeführten Beispiele für die Messung der Ausflussmenge an einer Maschine der französischen Nordbahn würde eine Vergrösserung der Oeffnung um einen Millimeter die Einspritzung um 6—7 Kilogramm vermehren; 2 Millimeter um 14 Kilogramm; ist hingegen der Wasserhahn oder Schieber

so combinirt, dass ungefähr auf einen Millimeter des Schieberhubes nur ein Kilogramm entfällt, so wird diese Schwierigkeit nicht mehr bestehen. Mit einer in dieser Weise geregelten Vertheilung ist es dem Maschinisten ein Leichtes, eine übermässige Einspritzung zu vermeiden und den Verbrauch nach dem Grade der Admission und der Geschwindigkeit zu regeln, wobei ihm die erlangte Uebung bei Handhabung des Hahnes und die Beurtheilung der ausströmenden Rauchwolke zu Statten kommt. Der Ort der Einmündung verliert dann von seiner Wichtigkeit und es erscheint nicht mehr unumgänglich nothwendig, sie am Ausströmungscanal vorzunehmen, sondern es genügt, sie nur so viel, als es die Construction erlaubt, den Cylindern näher zu rücken.

Nicht ohne Grund lege ich auf diese Details ein besonderes Gewicht; so oft man nach meiner Anweisung die Dampfeinspritzung unterdrückt hat, um nur Kesselwasser anzuwenden, hat man sehr befriedigende Resultate erhalten, jedoch oft über Wasserauswürfe geklagt; die Ursache dieser letzteren lag darin, dass die Wassereinspritzungen, wegen des unzureichenden Hubes des Schiebers oder Hahnes innerhalb der Grenze der benöthigten Einspritzungen, im Uebermaass stattfanden; es ist dies eine kleine Schwierigkeit, welche man bei ferneren Anwendungen beseitigen muss.

Strenge genommen könnte die Wassereinspritzung in Folge der durch sie bewirkten Anfeuchtung der Schieberbahn auch mit der gewöhnlichen Hebelumsteuerung fungiren, besonders wenn letztere so angeordnet ist, dass ein plötzlicher Rückschlag des Hebels keine schlimmen Folgen nach sich ziehen kann; die Anwendung derselben ist jedoch nur dann wirklich befriedigend, wenn man sich einer Schraubenumsteuerung bedient. Herr Marié, Oberingenieur der Bahn von Paris nach Lyon und dem mittelländischen Meere, hat dadurch, dass er diesen sinnreichen Apparat aus England eingeführt und damit die Vorrichtung für die Anwendung des Gegendampfes vervollständigt hat, der Sache einen wahrhaften Dienst geleistet, indem man andernfalls noch lange gegen den allerdings wohl gerechtfertigten Widerwillen der Maschinisten gegen die Anwendung des Gegendampfes hätte ankämpfen müssen; die beständigen Veränderungen des Admissionsgrades, um dadurch eine gleichförmige Geschwindigkeit auf sehr veränderlichen Profilen zu erhalten oder um den Stillstand in einer Station richtig zu bewirken, geschehen ohne Anstrengung des Maschinisten; es findet kein plötzlicher Sprung des Steuerungshebels von einer Rast zur andern statt; der Regulator bleibt offen und die vorzunehmenden Handgriffe gehen schneller von Statten,

selbst in dem Falle, wenn man den Dampf plötzlich umkehren muss. Dieser glücklichen Combination sowohl, als der schnell erlangten, und vom festen Willen unterstützten Ueberzeugung, an's Ziel zu gelangen, ist es zuzuschreiben, dass die Gesellschaft der Bahn von Paris nach Lyon und nach dem mittelländischen Meere den Gegendampf-Apparat so schnell an ihren 1400 Maschinen angebracht und dessen Anwendung für alle Theile des Dienstes verallgemeinert hat.

Die Zeichnungen der definitiv von Herrn Marié adoptirten Schraubenumsteuerung sind mit jenen des Distributionsapparates beim Secretariat der zwei grossen Institute der Civil-Ingenieure in London und Glasgow, sowie bei der Direction der k. k. priv. österreichischen Staatseisenbahn-Gesellschaft in Wien niedergelegt worden, indem es von Nutzen sein kann, die Details einer practisch bewährten und so allgemein eingeführten Einrichtung zu Rathe zu ziehen.

Es wurden schon verschiedene Combinationen versucht, um das gegenwärtige System der Anwendung des Gegendampfes zu vervollkommen. Ich werde sie in Kürze andeuten, um jenen Personen, die sich damit beschäftigen möchten, unnütze Forschungen zu ersparen.

Herr Laurent, Oberingenieur des Maschinenwesens der französischen Südbahn, bringt eine Klappe in Anwendung, oder disponirt die beweglichen Drosselklappen der Ausströmungsdüse in der Art, dass das Ausströmungsrohr, während des Ganges mit Gegendampf, vollständig geschlossen werden kann. Die Einspritzung von Dampf und Wasser, wie sie Herr Laurent im Anfang seiner Versuche zu Ende des Jahres 1867 gemacht hat, oder von Wasser allein, wie er sie jetzt verwendet, geschieht in einem geschlossenen Raum, der bezüglich der Cylinder dieselbe Stellung einnimmt, wie der Condensator bei stabilen Schiffsmaschinen; wenn der Verschluss dicht ist, so kehrt der in den Cylindern gebildete Dampf ganz in den Kessel zurück, wahrscheinlich mit einem Theile des eingespritzten Wassers, das sich nicht in Dampf verwandelt hat, wenn die Wassermenge allzu gross war. Ist die Einspritzung zu stark, so kann der Druck im Ausströmungsraume bis auf 2 oder 3 Atmosphären und darüber anwachsen; ist sie unzureichend, so bildet sich dort eine Luftleere. Diese Wirkungen bilden aber kein Hinderniss für den Gang mit Gegendampf. Der Vortheil des Systems des Herrn Laurent, welches jetzt im laufenden Dienste versucht wird, würde der sein, dass jeder

Dampf- und Wärmeverlust vermieden und der Maschinist der immerwährenden Aufmerksamkeit bei der Handhabung des Einspritzhahnes überhoben würde.

Dagegen würde es nothwendig sein, einen empfindlichen, mit dem Raume des Ausströmungsrohres communicirenden Manometer zu seiner Disposition zu stellen, damit er eine unzureichende oder eine allzu grosse Einspritzung vermeiden könnte. Als Erweiterung dieses Systems empfehle ich eine Combination zu studiren, vermöge welcher die Einspritzung in automatischer Weise regulirt würde; zu diesem Zwecke könnte man einen Hahn, der die Einspritzung öffnen und schliessen würde, und einen in der Leitung eingeschalteten Regulirungsschieber anbringen, dessen Stange durch eine ähnliche Spirale, wie die des Metall-Manometers, oder durch einen mittelst eines Gegengewichtes oder einer Feder gegengedrückten Kolben bewegt würde; würde der Druck im Ausströmungsrohre eine gewisse Grenze, z. B. $\frac{1}{10}$ oder $\frac{1}{4}$ Atmosphäre übersteigen, so würde der Regulirungsschieber die Oeffnung, durch welche das Gemenge von Wasser und Dampf zuströmt, verschliessen und auf diese Art dessen Ausflussmenge mässigen.

Eine der Schwierigkeiten bei Einspritzung in das Ausströmungsrohr besteht darin, dass das Wasser auf seinem Wege bis in den Cylinder durch einen unregelmässig geformten, oft sehr langen Canal vordringen muss, in welchem es periodische Gegenströmungen des Dampfes gibt, wodurch Wasserauswürfe verursacht werden. Diesem Uebelstande wird theilweise dadurch entgegengewirkt, dass man die beiden Aeste des Einspritzrohres an dem Ausströmungscanal der Cylinder einmünden lässt. Ich habe das Studium einer Combination angeregt, bei welcher die Einspritzung in den Cylinder selbst erfolgen würde, entweder an seinem Umfange in unmittelbarer Nähe der Cylinderdeckel, indem die Verästung der Vertheilungsrohre z. B. auf die Reinigungshähne, oder am Ende der Dampfeinlasscanäle, wenn deren Oberfläche äusserlich zugänglich ist, oder endlich in die Cylinderdeckel ausmünden könnte. Sollte diese Ausmündung auf den Reinigungshähnen geschehen, so könnte man deren Hahnkegel so disponiren, dass man die Communication der Einspritzung mit den Cylindern nach Belieben öffnen oder schliessen kann; in den anderen Fällen könnte man diese Communication mittelst eines kleinen Ventils herstellen, welches sich von aussen nach innen öffnet und mittelst eines schwachen Federdruckes gegen seinen Sitz angedrückt wird; diese Ventile würden den Eintritt des Dampfes aus den Cylindern in das Einspritzrohr während des Vorwärtsganges hindern, und während des

Ganges mit Gegendampf die Einspritzung nur in dem Augenblicke gestatten, wo das Ansaugen beginnt. Die Einspritzmenge würde wie gewöhnlich mittelst der im Bereiche des Maschinisten liegenden Hähne regulirt; dabei dürfte es wahrscheinlich zweckmässig sein, das Gemenge durch Hinzufügung einer gewissen Menge Kesseldampfes aufzuschwellen.

Diese Disposition ist allerdings etwas complicirt; sie erfordert vor allem eine doppelte Verästung und die Anwendung von 4 Vertheilungsröhren; aber sie würde die Einspritzung rationell betreiben und jedes Herausschleudern des Wassers durch den Rauchfang vermeiden.

Ich habe noch eine Combination vorgeschlagen, welche darin besteht, dass während des Ganges mit Gegendampf in continuirlicher Weise mittelst einer Pumpe gespeist würde, welche einen kleinen Strahl in den Kasten des Regulators oder in die Dampfzuleitungsröhren treibt; bei vielen Maschinen dient nämlich der Giffard'sche Apparat nur zur Aushülfe, um den Kessel während des Stationirens zu füllen, wohingegen die Speisung der Kessel während des Ganges in ununterbrochener Weise geschieht, indem der Maschinist nur das Wasserventil am Tender mehr oder weniger verengt; durch den erwähnten Strahl würde man gewissermassen durch die Cylinder speisen, von wo das Wasser direct die nöthige Wärme entnehmen würde, um seine Temperatur mit der des Kessels ins Gleichgewicht zu stellen. Wenn das im schädlichen Raume eingeschlossene Wasser nicht hinreichend sein würde, um den Cylinder auszufüllen und eine leichte Wolke an der Mündung des Rauchfanges zu bilden, so könnte man diese Combination durch eine Dampfeinspritzung am Boden des Ausströmungsrohres vervollständigen. — Ebenso kann man Wasser aus dem Kessel entnehmen, um es in die Schieberkasten einzuspritzen, wobei der der Höhe des Wasserstandes im Kessel über den Schieberkasten entsprechende Druck sich mit dem des Dampfes vereinigen würde, um die Ausströmung zu bewirken.

Herr Bourson, Ingenieur beim Betrieb der spanischen Nordbahn, hat verschiedene Combinationen angegeben und versucht, von denen die hauptsächlichste darin besteht, Kesselwasser in die Schieberkasten einzuspritzen und damit den Dampf, der die Cylinder füllen soll, in dem Augenblicke zu schwängern, wo er aus dem Kessel kommt; ein Communicationsrohr, das sich mit einer Verzweigung z. B. auf die Reinigungshähne ansetzt und mit einem Ventil oder einem Verengungshahn versehen wäre, um der alternativen Bewegung des Dampfes Grenzen zu setzen, würde die zwei Seiten des Kolbens in Verbindung setzen. Während der Admission des Gegendampfes würde ein Theil des gespannten Dampfes

in den Saugraum treten, ihn ausfüllen und einen Ueberschuss liefern, der durch den Rauchfang entweichen und den Rückgang der Gase hindern würde *).

Herr Bourson hat ausserdem ein System mit automatischer Einspritzung studirt, wodurch die Ausflussmenge des Wassers aus dem Einspritzhahne im Verhältnisse mit dem Admissionsgrade des Gegendampfes geregelt wird. Die Schwierigkeit einer derartigen Combination besteht darin, dass der Verbrauch sich nach mehreren von einander verschiedenen Bedingungen richten muss: nach dem Admissionsgrad der Geschwindigkeit und in gewissem Maasse nach der Grösse des Druckes im Kessel. Es würde dabei ein Mittel zur Regelung mit der Hand nothwendig sein und der Maschinist würde also nicht jeglicher Arbeit bei der Einspritzung enthoben sein; um den Variationen in der Verbrauchsmenge zu entsprechen, welche in Folge beschleunigter Bewegung nothwendig würden, könnte das Oeffnen des Dampfahnes von Hand geschehen.

Im Ganzen genommen ist das jetzige System des Gegendampfes, sowohl im Principe, als auch in der practischen Ausführung erst im Entstehen begriffen. Man kann sich verschiedener Vervollkommnungen versehen, über deren relativen Werth die Erfahrung entscheiden wird; doch bietet die jetzige Art und Weise der Einspritzung bezüglich ihrer Einfachheit, und bezüglich der leichten Regelung der Ausflussmengen, je nach der Grösse der Erfordernisse der Cylinder, solche Vorthelle, dass es vielleicht schwer werden dürfte, sie mit einer anderen zu ersetzen.

Um dieses Capitel zu beenden, erübrigt mir noch, bezüglich der besten Verwendung der Hülfsmittel, welche der Maschinist beim Gebrauche des Gegendampfes zu seiner Verfügung hat, Schlussfolgerungen zu machen. Die im vorhergehenden Abschnitte angeführten Details

*) Im Augenblicke, wo ich diese Zeilen schreibe, erfahre ich, dass die in Spanien angefangenen Versuche günstige Resultate liefern; ich will hier einen Auszug aus dem Bericht des damit beauftragten Ingenieurs mittheilen: „Ich bin von dem neuen Versuche, Wasser auf die Schieber zu spritzen, sehr befriedigt; der Umsteuerungshebel ist leicht zu handhaben, die Cylinder sind weniger warm als im Gange mit Gegendampf bei Anwendung des anderen Apparates; es entweicht kein Wasser mehr aus dem Rauchfang und man vermeidet jeden Rücktritt der Luft, ohne dass man genöthigt ist, fortwährend mit dem Einspritzhahn zu manövriren. Der Wasserverbrauch schwankt zwischen 16 und 24 Kilogramm in der Minute für einen Gang an der 6., 9. oder 10. Rast und bei einer Geschwindigkeit von 30 Kilometern in der Stunde. Die Stösse der Dampfausströmung sind ebenso markirt, wie beim directen Gange.“

gestatten mir, mich darauf zu beschränken, meine diesbezüglichen Vorschläge kurz zusammenzufassen.

Für Maschinen mit 6 oder 8 gekuppelten Rädern, welche einen sehr schweren Zug auf einer mässig geneigten Bahn, z. B. bei 5 bis 10 Millimeter Gefälle pro Meter, führen, welche eben sowohl den Last- wie den Personenzugsdienst auf einer stark geneigten Bahn von 15 Millimeter und mehr Gefälle machen und in Folge dessen in der Regel bei hohen Admissionsgraden zu arbeiten haben, soll man ein System mit abgesonderter Wassereinspritzung wählen, von der der Maschinist für gewöhnlich Gebrauch machen wird; die Einrichtung wird durch eine Dampfeinspritzung vervollständigt, welche zur Reinigung des Einspritzrohres, zur Wiedererwärmung und Aufschwellung des am Wasserhahn ausfliessenden Gemenges, wenn die Spannung im Kessel sehr niedrig ist, und besonders dazu dient, um in dem Augenblicke, wo der Zug an eine schiefe Ebene anlangt, die Ingangsetzung des Gegendampfes, oder wenn der Zug zum Stillstand kommt, dessen Abstellung zu erleichtern.

Für Personenzugmaschinen mit unabhängigen Triebrädern ist der Gegendampf nur im Falle einer drohenden Gefahr oder beim Anhalten in den Stationen mit Vortheil als Bremse anzuwenden. — Ich rathe, in diesem Falle Wasser und Dampf gleichzeitig einzuspritzen und zwar letzteren in vorwiegender Menge; man kann die Hähne so combiniren, dass man bei gleichen Theilpunkten jeder Scala 1 Theil Wasser auf 2 Theile Dampf erhält und dann beide zusammen verbinden, oder aber nur einen Hahn mit doppelter Einspritzung verwenden. Der ganze Verbrauch beider Flüssigkeiten kann auf 15 oder 20 Kilogramm in der Minute beschränkt werden.

Für Maschinen mit 4 gekuppelten Rädern kann man die Hähne gleichfalls verbinden oder nur einen Hahn mit doppelter Einspritzung verwenden, jedoch würde ich in diesem Falle vorschlagen, gegen das Ende der Scala die Wassermenge zu vergrössern. — Unterstellt man z. B. dass die Scala 12 Theilstriche habe, so könnte man die Oeffnungen so anordnen, dass man folgende Ausflussmengen erhielte:

Beim ersten Theilstriche	0,0 Kil. Wasser	2,0 Kil. Dampf
„ zweiten „	1,5 „	2,5 „
„ dritten „	3,0 „	3,0 „
„ vierten „	4,5 „	3,5 „
„ zwölften und letzten Theilstriche	16,5 „	7,5 „

Hätte dann die Maschine ausnahmsweise eine stark geneigte schiefe Ebene mit bedeutender Last nach abwärts zu befahren, so würde sie sich

bezüglich der Einspritzungen in ganz günstigen Verhältnissen befinden. Ich muss indessen bemerken, dass ich diese Zahlen selbstverständlich nicht als eine absolute Vorschrift, sondern nur als eine Andeutung hinstelle, welche den Ingenieuren bei Einführung des Gegendampfes als Führer dienen könnte.

Die Dienstinstruction der Eisenbahn von Paris nach Lyon und dem mittelländischen Meere schreibt vor, jedesmal beim Hinabfahren einer stark geneigten Bahn die Sicherheitsventile so zu entlasten, dass dadurch die Maximalspannung im Kessel um 1 Kilogr. pro Quadratcentimeter vermindert wird. Diese ganz vernünftige Vorschrift ist durch die Drucksteigerungen begründet, welche bei Anwendung des Gegendampfes entstehen können; würde ein Rohr zerspringen, so würde die Maschine dadurch ausser Thätigkeit gebracht werden und die Bremsen müssten allein ausreichen, den Zug auf der schiefen Ebene aufzuhalten. — Es kommt ziemlich selten vor, dass bei solchen Umständen die Ventile blasen und es ist möglich, dass die Maschinisten der Vorschrift, die Ventile zu entlasten, nur unvollkommen nachkommen; ich möchte daher lieber die Anwendung eines Auslasshahns anrathen, den der Maschinist jedesmal öffnen würde, wenn er bemerkt, dass in Folge erhöhten Druckes die Ventile zu blasen anfangen, und wenn der Dampf, falls das Wasser im Tender bereits genug erwärmt ist, ins Freie ausgelassen werden müsste.

Verschiedene Fragen.

Ich beabsichtige in diesem Capitel verschiedene Fragen zu behandeln, die sich direct auf das Studium des Gegendampfes beziehen, deren Erörterung jedoch im vorhergehenden Capitel unterbleiben musste, weil sie die Darstellung des Systems complicirt hätte. Ich werde bei dieser Gelegenheit nochmals auf die Frage bezüglich der Anwendung des Gegendampfes, als Mittel zum Anhalten in den Stationen, zurück kommen, und zwar nicht um ihre Vortheile, die ohnehin schon evident sind, hervorzuheben, sondern um den einzigen Einwurf, den man gegen diese Einrichtung machen könnte, zu erörtern.

§. 1. Wärmegewinn.

Nach theoretischen Grundsätzen wird die bei Anwendung des Gegendampfes entwickelte Wärme, deren Menge mit der Arbeit der

unausgesetzt überwundenen Schwerkraft, oder mit der vernichteten lebendigen Kraft des Zuges äquivalent ist, durch den von ihr entwickelten Dampf in den Kessel übertragen. Der grösste Theil dieses bei jedem Kolbenhub und bei jeder Radumdrehung gebildeten Dampfes condensirt sich und erhöht die Temperatur des Kessels; ein kleiner Theil desselben vereinigt sich mit dem im Dampfraum enthaltenen Dampfe, dessen Druck und Dichte mit der Temperatur des Wassers gleichmässig wächst. Nach theoretischer Anschauungsweise soll der Druck nach und nach wachsen und die Ventile sollen schliesslich zu blasen anfangen.

Es ist sogar möglich, durch Versuche, welche zum Zwecke der Constatirung derartiger Wirkungen angestellt würden, die Dampfspannung bedeutend zu vergrössern, ohne eine grosse Wärmemenge aus dem Feuerraume zu entlehnen, ja selbst dann, wenn das Feuer zum Erlöschen käme; zu diesem Zwecke müsste man während der Versuche entweder das Speisen des Kessels ganz unterlassen, oder insolange dasselbe dauert, nur unbedeutende Mengen Wassers hinein lassen, dann jeden erheblichen Dampf- und Wärmeverlust durch den Rauchfang verhindern und in die Cylinder nur wasserarmen Dampf leiten, um intensivere Reibungen zu erhalten, welche selbst eine Quelle der Wärmebildung werden.

Dieses ist aber nur ein physikalischer Versuch, und wenn man bemerkt, dass der Kesseldruck steigt, und besonders dass die Ventile zu blasen anfangen, so ist anzunehmen, dass der Feuerraum hierzu die nöthige Wärmemenge geliefert hat. Beim practischen Betriebe auf schiefen Ebenen von grosser Ausdehnung, wo man annähernd den Brennmaterialverbrauch beurtheilen kann, findet man, dass die Anwendung des Gegendampfes im Vergleiche zur Anwendung der gewöhnlichen Bremsen einen Mehrverbrauch an Brennstoff bis zu 1,50 und 1,75 Kilogramm per Kilometer erfordert. Dieses ist leicht verständlich, wenn man bedenkt dass der Rauchfang wegen des Entweichens der Dampf Wolke offen bleibt, statt verdeckt zu werden, wie sorgfältige Maschinenführer es unter Anwendung der gewöhnlichen Bremsen beim Hinunterfahren zu thun pflegen. Man kann sich aber auf eine directere Art hierüber Rechenschaft geben.

Vor allen Dingen muss man bemerken, dass eine wesentliche Verschiedenheit zwischen den beiden Verwendungen der Wärme bei gewöhnlichem Gange der ziehend arbeitenden Maschine, und beim Gange mit Gegendampf besteht. Im ersteren Falle kann die Antriebsarbeit nicht viel mehr als 10% der im Dampfe enthaltenen Wärme ausnützen; es ist dies ein Punkt, der bei den gegenwärtigen Dampfmaschinen noch vieles zu wünschen lässt. Dahingegen stellt das bei der Arbeit mit Gegendampf

im Cylinder verdampfte Wasser die ganze mit der vernichteten Arbeit äquivalente Wärme dar, und da überdies, wie ich später zeigen werde, die Arbeit des Gegendampfes bei voller Admission nur 60% derjenigen erreicht, welche die Maschine leistet, wenn sie ziehend arbeitet, so folgt hieraus, dass in diesem Falle die Bildung einer Dampfmenge von 6 Kil. einem Verbräuche von 100 Kil. beim Vorwärtsgang entspricht. Während der Gegendampf dem Kessel 6 Calorien zuführt, absorbiert die gewöhnliche Arbeit der Maschine nach Vorwärts deren 100. Würde man annehmen, dass bei einer Maschine im gewöhnlichen Gange 6% des gesammten Brennmaterial-Verbrauchs dazu dienen, die Wärmeverluste in Folge der äussern Abkühlung des Kessels und der Cylinder, der Dampfverluste u. s. w. zu ersetzen, so würde die in den Cylindern entwickelte Wärme, da kein Grund vorhanden ist, dass die Wärmeverluste während des Gebrauchs des Gegendampfes kleiner ausfielen, gerade hinreichend sein, um die Ursache der äusseren Abkühlung aufzuheben.

In dieser Thatsache liegt daher eine, allerdings je nach den Jahreszeiten veränderliche Ursache, welche die in den Cylindern gebildete Wärme verhindert, in dem Kessel eine namhafte Erwärmungswirkung hervorzubringen. — Es gibt jedoch noch andere nicht minder wichtige Ursachen.

Bei der gegenwärtigen Art der Einspritzung, in so lange man das Ausströmungsrohr nicht hermetisch schliesst, wie dies bei dem System des Herrn Laurent geschieht, oder nicht die Einrichtung trifft, um Verbrennungsgase in den Kessel zurücktreten zu lassen, was innerhalb gewisser Grenzen für eine mit Pumpe gespeiste Maschine keinen grossen Nachtheil bringen würde, so muss man eine gewisse Dampfmenge durch den Rauchfang verlieren, um die Dampfwolke zu bilden, welche dem Maschinisten als Führer dient. Dieser Verlust bildet einen Theil der zur Anfüllung des Cylinders nothwendigen Dampfmenge; diejenige, welche in den Cylindern gebildet werden muss, um die Arbeit der Schwerkraft auszugleichen, ist selbst nur ein Bruchtheil der ganzen Ausfüllungsmenge, etwa $\frac{1}{3}$ oder $\frac{2}{5}$. Hat der Maschinist eine unbehülfliche Hand, so dass er seinen Einspritzhahn nicht gut zumacht und dadurch z. B. 15 bis 20% der Einspritzmenge verliert, so würde dieses ein Verlust sein, welcher der Hälfte der in den Cylindern entwickelten Wärme entspräche, und es würde nur die zweite Hälfte zur Compensation der Abkühlungen übrig bleiben.

Endlich ist das Hinunterfahren auf einer schiefen Ebene im Allgemeinen eine zur Speisung günstige Gelegenheit; folgt ein Gefälle gleich

nach einer Steigung, wie dies häufig der Fall ist, so wird der Maschinist, nachdem er bei der Steigung eine grosse Zugkraft entwickeln musste, das Gefälle zur Füllung des Kessels benützen; im umgekehrten Fall wird er sich beim Hinunterfahren auf die Steigung vorbereiten; jedenfalls soll er natürlicher Weise den Umstand benützen, dass die Maschine zur Speisung des Kessels keinen Dampf zu verbrauchen nöthig hat. — Ein Giffard'scher Injector treibt in voller Arbeit 120 Kilogramm Wasser per Minute in den Kessel, und dieses, nehmen wir an, bei 25° aus dem Tender entnommene Wasser absorbiert 150 Calorien per Kilogramm oder im ganzen 18000 Calorien, um die Temperatur des Kessels von 175° anzunehmen. Die 5,36 Kil. in dem auf Seite 23 gewählten Beispiele entsprechen 2611 Calorien, welche, bei Vernachlässigung jedes anderen Verlustes, dem Wärmegewinn in derselben Zeit gleichkommen. Es genügt daher ebenfalls, wenn man beim Hinunterfahren auf je 7 Minuten der Fahrzeit während einer Minute speist, damit die ganze, in den Cylindern entwickelte und in die Kessel übertragene Wärme absorbiert wird.

Aus allem diesem ersieht man schliesslich, dass bei Anwendung des Gegendampfes die Temperatur und der Druck sich in Wirklichkeit nur durch die im Feuerraum entwickelte Wärme auf ihrer normalen Höhe erhalten können, und man wird sich nicht wundern, wenn man beim Hinunterfahren einer langen schiefen Ebene den Heizer zu wiederholten Malen bedeutende Mengen Brennmaterial zulegen sieht.

Das Ziel, das man im Auge haben soll, ist nicht eine möglichst grosse Wärmemenge im Kessel anzusammeln, sondern möglichst viel Brennmaterial im Feuerraum in Ersparung zu bringen; man kann sicher sein, dass, wenn die Ventile blasen, der Feuerraum die Veranlassung dazu gibt.

§. 2. Practische Berechnung der Einspritzungen.

Man kann sich im Voraus durch annähernde Berechnungen Rechenschaft über die nöthigen, aus dem Kessel zu entnehmenden und in die Cylinder einzuspritzenden Wassermengen geben, wenn die Locomotive unter bestimmten Bedingungen mit Gegendampf gehen sollen.

Hätte man für einen gegebenen Maschinentypus eine beträchtliche Anzahl von Indicator-Diagrammen unter sehr verschiedenen Dienstverhältnissen aufgenommen, so könnte man darauf die Grösse der gesaugten Volumina abmessen, ferner für jede Rast oder Stellung des Steuerungshebels einen mittleren Coefficienten von 30, 40% bilden und mit

Bezug auf den totalen Cylinderraum die Werthe der angesaugten Volumina bestimmen; man müsste also für jede Admissionsrast die gleichen Berechnungen durchführen, wie jene auf der Seite 23. In den meisten Fällen stehen jedoch derartige Grundlagen nicht zur Verfügung und man kann sich dann mit einer Annäherungs-Methode behelfen, welche stets Maximalwerthe geben dürfte.

Vorbehaltlich einer practischen Verification und einer beim Betrieb vorzunehmenden Reduction der so berechneten Wassermengen, falls sie eine zu grosse Dampfvolke geben sollten, kann man dabei in folgender Weise verfahren.

Man bestimmt zunächst die Grösse des schädlichen Raumes, entweder nach der Arbeitszeichnung oder durch directe Messungen, indem man, nach vorgängiger Verschmierung der zwischen dem Kolben und den Cylinderwandungen vorhandenen Undichtheiten mit Unschlitt, die Dampfwege mit Wasser füllt. Diese Messung hat für jede Seite des Kolbens zu geschehen und man nimmt dann von den so erhaltenen Werthen den Mittelwerth.

Dann berechnet man das Gewicht des gesättigten Dampfes, welcher dieses Volumen bei der, dem Normal-Kesseldrucke entsprechenden Temperatur anfüllt; man unterstellt, dass dieser Dampf sich bis zu atmosphärischer Spannung ausdehnt und dabei gesättigt bleibt; dividirt man sein Gewicht durch 0,607, nämlich der Dichte des Dampfes bei 100° , so erhält man sein neues Volumen; davon zieht man das Volumen des schädlichen Raumes ab und erhält ein gewisses Volumen, welches denjenigen Theil des vom Kolben durchlaufenen Raumes darstellt, den dieser Dampf ausgefüllt hat. Man misst hierauf auf der in natürlicher Grösse gezeichneten graphischen Darstellung der Dampfdistribution die Voreilung der Dampfausströmung, oder, was auf dasselbe herauskommt, die Grösse des zurückgedrängten Dampfolumens, und vermehrt dasselbe um einen kleinen Theil, welcher das dem Nacheilen des Schiebers entsprechende zurückgedrängte Suppletar-Volumen darstellt. Man findet hierdurch das annähernde Ausmass des Saugolumens. — Wenn man Wasser allein oder in starker Proportion einspritzt, so ist der Dampf, im letzten Augenblicke seiner Zurückdrängung in den Kessel, mit Wasser geschwängert, und der im schädlichen Raume eingeschlossene Dampf befindet sich ebenfalls in diesem Zustande; das im Cylinder enthaltene Dampfolumen, wird nach erfolgter Expansion in Folge der Verdampfung des darin schwebenden Wassers vergrößert; dieser Umstand wird allerdings Anlass zu Irrungen geben, die aber nur

einzig und allein zur Folge haben, dass man ein zu grosses Saugvolumen findet.

Im Augenblicke, wo die Expansion aufhört, ist der Druck noch nicht bis auf den der äussern Atmosphäre gesunken, und es entweicht eine gewisse Dampfmenge; da sie aber sogleich wieder eintritt, sobald das Ansaugen beginnt, so braucht man keine Rücksicht darauf zu nehmen.

Die folgende Tabelle gibt beispielsweise alle Elemente zur Berechnung des Saugvolumens für eine Maschine der französischen Nordbahn, mit 8 gekuppelten Rädern, System Engerth :

Kolbenhub	Meter	0,66
Durchmesser der Cylinder	„	0,50
„ „ Räder	„	1,25
Absoluter Dampfdruck im Kessel	Atmosphären	8,—
Grösse des schädlichen Raumes	Liter	8,00
Ganzes Volumen des Cylinders	„	129,56
Vom expandirten Dampf eingenommenes Volumen	„	48,36
Dem Nacheilen des Schiebers entsprechendes Volumen „		4,90

Nummer der Rast der Dampf-Distribution . .	2	3	4	5	6	7	8
Mittleres zurückgedrängtes Volumen (Liter)	55,94	45,15	36,21	29,44	24,73	20,81	17,86
Mittler. angesaugtes Netto-Volumen (Liter)	16,36	31,15	40,09	46,66	51,37	55,29	58,24

Bei der ersten Rast würde die Rechnung ein negatives Saugvolumen ergeben, was mit den mit dem Watt'schen Indicator gefundenen Resultaten übereinzustimmen scheint (Tafel II).

Mit Hülfe dieser verschiedenen Elemente kann man eine Tabelle zusammenstellen, welche für die verschiedenen Admissionsgrade und für verschiedene in Kilometern per Stunde ausgedrückte Geschwindigkeiten die nöthige Wassereinspritzung gibt; die als Beispiel dienenden Geschwindigkeiten wurden so gewählt, dass sie einer ganzen Anzahl Cylinderfüllungen per Secunde entsprechen; die Geschwindigkeiten *V* sind in Kilometern per Stunde ausgedrückt.

Tabelle der Einspritzungen in Kilogrammen per Minute.

Nummer der Rast	$v = 21$	$v = 28$	$v = 35$	$v = 42$
	Kilogramm	Kilogramm	Kilogramm	Kilogramm
2	3,5	4,6	5,8	8,0
3	6,8	9,1	11,3	13,6
4	8,7	11,7	14,6	17,5
5	10,2	13,6	17,0	20,4
6	11,2	14,9	18,7	22,5
7	12,1	16,1	20,1	24,3
8	12,7	17,0	21,2	25,4

Diese Rechnungen in Verbindung mit einer Tabelle über die Ausflussmengen des Einspritzhahnes sind ein nützliches Auskunftsmittel für jene Ingenieure, welche Versuche zu machen haben. Sie können übrigens mittelst practischer Versuche verificirt und corrigirt werden und dann die Grundlage zur Aufstellung eines Rechenknechtes oder einer Hülfs-tabelle für den Maschinisten bilden, in welcher statt der in Kilogrammen ausgedrückten Ausflussmengen die Nummern der Theilstriche der be-treffenden Scala vermerkt werden könnten.

Die vorstehend berechneten Elemente sind zu stark, besonders für die niedrigeren Rasten; um sie zu corrigiren, müsste man bei einer Reihe von Fahrten auf verschiedenartig geneigten Ebenen und bei ver-schiedenen Geschwindigkeiten beobachten, bis zu welchem Punkte man bei jeder Admission den Hahn öffnen oder schliessen muss, um nur die in minimo nothwendige Dampfwolke über dem Rauchfang zu erhalten. Vergleicht man dann diese Resultate mit denen der berechneten Tabelle, so wird man annäherungsweise finden, in welchem Verhältnisse man die Angaben der Rechnungen reduciren muss. Diese würden gleichsam als Unterlage für die Aufstellung der definitiven Hülfstabelle dienen.

§. 3. Grenze der Arbeit des Gegendampfes.

Die Anwendung des Gegendampfes hat eine Grenze, nämlich die des mittleren Widerstandsdruckes, welchen man in den Cylindern erhalten kann. Betrachtet man die Diagramme der Tafel II, welche unter ver-schiedenen Umständen bezüglich der Admission und der Einspritzung

abgenommen wurden, so sieht man, dass bei gleicher Dampfadmission in den Cylindern dieser mittlere Druck viel schwächer sein muss, als im gewöhnlichen Gange. Dieses rührt besonders davon her, dass während der Periode des Ausdrückens keine Widerstandsarbeit hervorgebracht wird; während der Compression, welche nach der Abschliessung der Ausströmungsöffnung eintritt, ist diese Arbeit gering; endlich stellt sich der Druck des direct aus dem Kessel eingelassenen Dampfes nur allmählig her; man erhält demzufolge ein unregelmässiges Diagramm statt eines stetig verlaufenden, wie beim gewöhnlichen Gange.

Die Expansion des Dampfes im schädlichen Raume schneidet auch ein viel grösseres Stück vom Diagramm weg, als die Compression beim gewöhnlichen Gange.

Diese Ursachen der Verminderung des mittleren Druckes oder der Fläche des Gegendampf-Diagrammes haben zur Folge, dass für die schwachen Admissionen dieser mittlere Druck gleich Null oder negativ wird.

Um mich über die mögliche Maximalarbeit des Gegendampfes aufzuklären, habe ich unter Zugrundelegung des Diagrammes der Fig. 5, Tafel II, und mit Hülfe von Diagrammen, welche unter denselben Admissionsbedingungen beim gewöhnlichen Gange aufgenommen worden sind, ein Diagramm der directen Wirkung zusammengestellt und die Flächen oder die mittleren Drucke mit einander verglichen; ich fand dafür das Verhältniss $\frac{2}{3,7} = 0,54$.

Da die Admission in diesem Beispiel nur 67% beträgt, so kann man annehmen, dass bei voller Admission während 75 bis 80% des Hubes man für dieses Verhältniss reichlich 60% erhalten würde.

Diese Grenze hängt gleichzeitig von dem räumlichen Inhalte des freien Raumes und von der angenommenen Art der Regelung der Dampf-distribution ab. Diese Regelung ist bis jetzt, besonders für die Personenzugmaschinen, ausschliesslich der Art combinirt worden, um eine grosse Expansion, oder richtiger gesagt, eine gute Distribution beim schnellsten Gange der Maschine zu erhalten; zu diesem Zwecke gibt man den Excentern eine grosse Winkelvoreilung, und um die Ausströmung bei grosser Ganggeschwindigkeit zu erleichtern, gibt man der Ausströmung ein grosses Voreilen. Dies hat zur Folge, dass die Maximaladmission bei vollem Gange höchstens nur bis zu 75% stattfindet. Sie ist oft so reducirt, dass die Ingangsetzung schwer wird. Alles dies ist für den Vorwärtsgang vortheilhaft, nicht aber für den Gang mit Gegendampf, dessen Maximalarbeit dadurch beschränkt wird. Bei den Güterzugmaschinen,

bei welchen die Anforderungen anderer Art sind, wie bei Personenzugmaschinen, findet im allgemeinen eine derartige Verrenkung der Distribution, welche den Zweck hat, mit Hülfe der Stephenson'schen Coulissee mit einem einzigen Schieber eine annehmbare variable Expansion zu erreichen, nicht statt; deshalb sind auch die Resultate, bezüglich der Wirksamkeit des Gegendampfes, hier vortheilhafter. Wären die Excenter im rechten Winkel zur Kurbel aufgekeilt, wäre kein Spiel in den Distributionsbestandtheilen, und wäre die Coulissee derart construirt, dass an jedem Ende derselben die Schieberstange ihre Bewegung nur von der correspondirenden Excenterstange erhielte, so wäre das Diagramm des Gegendampfes bei vollem Gange, ebenso wie jenes bei gewöhnlichem Vorwärtsgange, ein Rechteck; es würde selbst eine grössere Fläche darstellen und einen grössern mittleren Druck ergeben; denn wenn bei gewöhnlichem Gange die Geschwindigkeit etwas erheblich wird, so gestaltet sich der Druck im Cylinder etwas geringer als der im Kessel, wegen des Widerstandes in den Dampfzuleitungsröhren und in den Dampfwegen des Cylinders; wohingegen bei der Ausströmung wegen derselben, jedoch entgegengesetzt wirkenden Ursache, der Dampfdruck im Cylinder nicht ganz bis zu dem der äussern Atmosphäre niedersinkt. Aus demselben Grunde würde der Druck in den Cylindern beim Zurückdrängen des Gegendampfes in den Kessel grösser als im Kessel werden.

Das Verhältniss der Maximalarbeit des Gegendampfes zu der des direct wirkenden Dampfes liegt daher in der Hand des Ingenieurs, welcher die Elemente der Dampfvertheilung angibt. Er muss den Dienst, den die Maschine erfüllen soll, berücksichtigen, und wenn die Anwendung des Gegendampfes häufig zu geschehen hat, so muss er dahin trachten, von dem Gegendampfe das Maximum von Widerstandsarbeit dadurch zu erzielen, dass er den schädlichen Raum und besonders den räumlichen Inhalt der Dampfwege möglichst vermindert, dass er die Keilungswinkel so wie das Voreilen der Dampfadmission und der Ausströmung gut wählt, endlich dass er die Coulissee so construirt, dass sie die Dampfadmission während des möglichst grossen Theiles des Schubes gestattet. Bei den jetzigen Lastzugmaschinen kann man gewöhnlich auf eine Widerstandsarbeit des Gegendampfes von 60% der directen Arbeit des Dampfes rechnen; bei eintretender Nothwendigkeit könnte man versuchen, diese Ziffer bis zu 70 oder 75% zu erhöhen.

Eine Combination, die man in Erwägung ziehen könnte, deren Vortheile ich aber nicht in der Lage bin, im Voraus zu beurtheilen, wäre

die, den Excentern für den Rückwärtsgang nur eine kleine Winkelvoreilung zu geben, insofern dadurch für den gewöhnlichen Gang keine allzu schädliche Störung in den Bedingungen der variablen Expansion entstehen würde; es würde dies darauf herauskommen, dass man den Gang mit dem Tender nach vorne, jenem mit Gegendampf zum Opfer brächte.

Unter allen Umständen findet die Arbeit des Gegendampfes eine natürliche Grenze in dem Schleifen der Triebräder. Bei dem jetzigen Stande der Dinge sieht man manchmal, dass die Maschinen bei der auf 60% der directen Arbeit geschätzten Maximalarbeit des Gegendampfes schon gleiten. Würde man bis auf 70 oder 75% gelangen, so würde dieses Gleiten viel häufiger vorkommen. So sehr auch das Interesse vorwaltet, die Arbeit des Gegendampfes zu vermehren, so hat dasselbe, wie man sieht, seine Grenze; es wäre unnütz, die Herstellung einer Dampfbremse von aussergewöhnlicher Stärke anzustreben, wenn dieselbe durch den Mangel an Adhäsion unwirksam gemacht würde. Wie dem aber auch sei, so halte ich dafür (es ist dies allerdings nur eine Ansicht), dass die Grenze bei 70 oder 75% als angemessen zu erachten wäre. Man muss nämlich nicht aus dem Auge verlieren, dass die Ingenieure in manchen Fällen den Cylindern systematisch grosse Dimensionen geben, um nur mit einer ausgedehnten Expansion zu arbeiten; diese Maschinen könnten sowohl wegen unzureichender Adhäsion, als auch wegen zu geringer Verdampfung nicht mit voller Admission arbeiten: dagegen kommt diese Combination dem Gegendampfe vortheilhaft zu Statten und kann ein Mittel zur Vergrösserung des vorerwähnten Verhältnisses der Widerstandsarbeit abgeben.

Im Ganzen genommen muss heutigen Tages bei Entwerfung von Locomotivplänen die Frage bezüglich des Gegendampfes in ernstliche Erwägung gezogen werden.

Hat man das Verhältniss zwischen der Widerstandsarbeit und der Zugarbeit bestimmt, so kann man sich von der Suppletarlast Rechenschaft geben, welche durch eine Maschine auf einer schiefen Ebene hinuntergefahren werden kann, im Vergleiche zu jener, welche sie hinauf zu fördern im Stande ist.

Unterstellt man eine Maschine mit 8 gekuppelten Rädern im Gewichte von 46 Tonnen, oder, einschliesslich des Tenders, von 62 Tonnen und stark genug, um auf einer schiefen Ebene von 18 Millimetern Steigung pro Meter, 15 Güterwaggons von $14\frac{1}{2}$ Tonnen Brutto-Gewicht und welche zur Hälfte mit Oel, zur Hälfte mit Fett geschmiert sind,

mit einer Geschwindigkeit von 15 bis 16 Kilometer per Stunde hinaufziehen zu können, so kann der stete Kraftaufwand der Maschine bezüglich der Reibung der Waggonen, nach den practischen Formeln der Herren Vuillemin, Guebhard und Dieudonné *) auf folgende Art berechnet werden:

Widerstand des gezogenen Zuges 217,5 Tonnen zu 2,77 Kil.	
per Tonne	602
Widerstand der Maschine und des Tenders als Fahrzeug betrachtet, von 62 Tonnen Gewicht, zu 10 Kil. per Tonne	620
Supplementar-Widerstand der arbeitenden Maschine, zu 10 Kil. per Tonne, bei 46 Tonnen	460
Wirkung der Schwere 279,5 Tonnen $\times 18$	5031
Total in Kilog.	6713

Bezeichnet man mit x die Supplementar-Belastung, welche die Maschine bei einer grösseren Geschwindigkeit z. B. 30 Kilometer per Stunde, bei welcher der Widerstands-Coefficient der Wagen auf 3,47 Kil. sich erhöht, nach abwärts wird bringen können, und unterstellt, dass die Maximalarbeit des Gegendampfes bei vollem Gange 0,60 der beim Hinauffahren entwickelten Zugarbeit sei, so erhält man:

$$(279,5 + x) \times 18^{\text{Kg}} - (217,5 + x) \times 3,47 = 0,60 \times 6713^{\text{Kg}}$$

woher $x = 57,84$ Tonnen, also beiläufig 4 Waggonen zu $14\frac{1}{2}$ Tonnen. Die Maschine, welche 15 Waggonen hinaufziehen würde, könnte 19 hinunterführen.

Diese Ziffern stimmen ziemlich mit den Resultaten einer Reihe von Versuchen überein, die ich zu machen Gelegenheit hatte.

Mittelst einer ähnlichen Rechnung kann man annähernd die Neigung einer schiefen Ebene finden, auf welcher ein von einer gegebenen Maschine hinaufgezogener Zug beim Hinunterfahren nicht höher belastet werden kann, insofern die Maschine allein seine Geschwindigkeit mässigen soll. Setzt man dieselben gegebenen Grössen voraus, nämlich 16 und beziehungsweise 30 Kilometer für die Geschwindigkeit, 6700 Kilogramm in runder Ziffer für die Zugkraft, welche die Maschine beim Hinauffahren entwickeln kann; bedeutet ferner i die Neigung in Millimetern per Meter und T die Last des gezogenen Zuges, so erhält man:

*) Ueber den Widerstand der Bahnzüge und die Stärke der Maschinen von Herren Vuillemin, Guebhard und Dieudonné. 1868. — Eugène Lacroix. Verleger in Paris.

$$T \times 2,77 + 1080 + (T + 62) i = 6700 \text{ Kil.}$$

$$(T + 62) i - 1080 - T \times 3,47 = 0,60 \times 6700 = 4020 \text{ Kil.}$$

woraus $T = 83,33$ Tonnen und $i = 37,08$ Millimeter.

Unterstellt man für das Hinunterfahren dieselbe Geschwindigkeit von 16 Kilometern per Stunde wie für das Hinauffahren, so findet man $T = 93,86$ Tonnen und $i = 34,39$ Millimeter.

Aus diesen Berechnungen kann man den Schluss ziehen, dass eine schiefe Ebene von 34 bis 35 Millimeter Neigung per Meter nach beiden Richtungen mittelst Maschinen mit 8 gekuppelten Rädern, welche Züge von 7 bis 8 Güterwagen von je 12 bis 13 Tonnen Bruttolast, oder von 11 bis 12 Personenwagen, mit einer Geschwindigkeit von 15 bis 16 Kilometer per Stunde hinaufbefördern, befahren werden könnte, ohne dass es nöthig wäre, beim Hinunterfahren die Bremsen zu Hülfe zu nehmen.

Diese Belastungs-Ziffern würden sich verdoppeln, wenn zwei Maschinen, nämlich beim Hinauffahren eine vorne, die andere hinten am Zuge und beim Hinabfahren beide vorne am Zuge, in Anwendung gebracht würden. —

Man kann sich leicht in annähernder Weise Rechenschaft von der Erheblichkeit der vom Gegendampfe zu erwartenden Mitwirkung beim Anhalten der Züge, im Vergleiche zu den gewöhnlichen Bremsen, geben.

Zahlreiche Versuche sind zur Bestimmung der Reibung der Waggonräder auf den Schienen gemacht worden für den Fall, wo bei vollständig angezogener Bremse die Räder zwischen den Bremsklötzen festgeklemmt sind. — Im mittleren Durchschnitte kann man den Reibungs-Coefficienten zu 0,16 annehmen; derselbe stellt das Verhältniss zwischen dem Bewegungs-Widerstande eines gebremsten Waggons und dessen Gewichte dar, oder besser dem Gewichte, welches die Schienen in Berührung mit den gebremsten Rädern auszuhalten haben.

Man kann ferner annehmen, dass man entweder durch die Regelung der Distribution, oder durch Anwendung von übergrossen Cylindern, beim Gange mit Gegendampf 0,60 und selbst 0,70 der Arbeit beim directen Gange erhalten kann. Endlich hat die Erfahrung gezeigt, dass die eigenen Widerstände der Maschine viel bedeutender sind, wenn die Schieber mit Dampf belastet sind, als wenn sie durch Verschliessen des Regulators entlastet werden, wie dies immer geschieht, wenn man zum Anhalten des Zuges einzig und allein die Bremsen verwendet. — Die Reibungen der Schieber auf den Spiegeln, der Excenterringe auf ihren Scheiben u. s. w. bilden eine Arbeitssumme, die der Fortbewegung einen

Widerstand von 10 oder 12 Kilogrammen per Tonne Gewichtes der Maschine, also etwa im Mittel von 11 Kilogramm, entgegengesetzt.

Wenn man ausserdem unterstellt, dass die Maschinen für eine Adhäsion von $\frac{1}{6}$, d. h. so construirt seien, dass die vom Dampfe auf den Kolben entwickelte Zugkraft $\frac{1}{6}$ des von den Schienen an der Berührungsstelle mit den Triebrädern zu tragenden Gewichtes beträgt, so kann man folgende Relation aufstellen, in welcher

P das Gewicht der Maschine in Tonnen, ohne Tender, bedeutet;

π das adhärende Gewicht oder die Last der Triebräder auf den Schienen, in Kil. (wenn alle Räder gekuppelt sind, so ist $\pi = P \times 1000$);

F das totale Gewicht in Kilogrammen oder die totale Belastung der Schienen an ihrer Berührungsstelle mit den gebremsten Rädern, deren Bremsen der Bewegung einen eben so grossen Widerstand entgegenstellen, als der Gegendampf, wenn nämlich 0,65 für das Verhältniss zwischen der Arbeit des Gegendampfes und derjenigen des Dampfes im directen Gange angenommen wird. Man erhält dann:

$$\frac{1}{6} \cdot \pi \cdot 0,65 + 11 P = 0,16 F.$$

Nimmt man an, dass die Triebachsen oder Tragachsen bei was immer für Maschinen die Schienen mit 12 Tonnen belasten und dass ein belasteter Bremswaggon 10 Tonnen wiegt, so erhält man folgende Resultate:

	Werth von F	Aequivalente Zahl der Waggons mit Bremse
Maschine mit 8 gekuppelten Rädern	35800 Kil.	$3\frac{1}{2}$
„ „ 6 „ „	26850 „	$2\frac{2}{3}$
„ „ 4 „ „	18725 „	$1\frac{3}{4}$ —2
„ „ unabhängigen „	15000 „	1

Dieser Vergleich wäre aber nicht richtig, wenn man den Bedingungen nicht Rechnung trüge, unter welchen die beiden Systeme beim Anhalten in Anwendung kommen.

Der Gegendampf wirkt augenblicklich; 2 oder höchstens 3 Secunden sind dem Maschinisten nothwendig, um von dem Vorwärtsgang auf den Rückwärtsgang überzugehen, was ohne den Regulator zu schliessen bewerkstelligt wird; sollen hingegen die Bremsen angezogen werden, so muss der Maschinist zuerst mehrere kurz abgebrochene Pfeifensignale

geben, und bei vorhandener Gefahr dieselben noch einmal wiederholen, um die Aufmerksamkeit der Bremsenwärter noch reger zu machen; diese haben dann eine Manipulation vorzunehmen, welche nicht augenblicklich vor sich gehen kann, und welche sie oft mit Nachlässigkeit oder in ungenügender Weise ausführen; zudem müssen die Bremsen in gutem Zustande und gut regulirt sein. Endlich kann der Zustand der Schienen den Effect der Bremsen zum grossen Theile paralysiren, während der Gegendampf bis zu der Grenze, wo das Schleifen der Triebräder beginnt, seine volle Wirksamkeit behält und, falls das Schleifen wirklich eintritt, der Maschinist durch Oeffnen des Sandkastens Hülfe schaffen kann.

Man kann selbst hinzufügen, dass mit den Bremsen angestellte Versuche zu ergeben scheinen, dass bei grosser Geschwindigkeit der Reibungs-Coefficient der festgeklebten Räder kleiner wird, während die Wirkung des Gegendampfes unverändert bleibt.

Aus allem diesem geht hervor, dass, wenn es möglich wäre bezüglich des, während der Ausführung der zum Anhalten erforderlichen Manipulationen, zurückgelegten Weges einen richtigen Vergleich zwischen den Bremsen und dem Gegendampfe anzustellen, man mit Rücksicht auf die für gewöhnlich gebräuchlichen Bremsen zu Gunsten des Gegendampfes auf eine Constante rechnen könnte, welche je nach der Geschwindigkeit zu 40 bis 60 Meter zu veranschlagen ist.

Vom practischen Standpunkte aus kann man annehmen, dass jede Triebachse einer mit Gegendampfapparat versehenen Maschine einen im guten Zustande befindlichen Bremswaggon im Gewichte von 10 bis 12 Tonnen zu ersetzen vermag.

§. 4. Wirkungen des Gegendampfes in den Curven.

Es könnte gegen die Anwendung des Gegendampfes zur Mässigung der Geschwindigkeit beim Hinunterfahren einer schiefen Ebene und zum Anhalten in den Stationen der Einwurf gemacht werden, dass in gebirgigen Gegenden die starken Neigungen in den meisten Fällen gleichzeitig mit Krümmungen von kleinen Halbmessern vorkommen, dass die Züge oft durch Ausweichgeleise, deren Krümmungshalbmesser nur zweihundert und fünfzig Meter und noch weniger beträgt, fahren müssen, um zu der ihnen zum Anhalten angewiesenen Stelle zu gelangen, und dass man sich daher fragen muss, ob es nicht nachtheilig ist, unter diesen Umständen den ganzen Widerstand der Maschine zu entlehnen, und ob nicht die vorderen Waggonen, welche von den hinteren gegen die

Widerstand leistende Maschine gepresst werden, Gefahr laufen, in Folge einer Art Ausbauchung des Zuges, aus den Schienen zu kommen.

Einige einfache, aber hinreichend genaue Berechnungen zeigen, dass, wenn diese Unzukömmlichkeit auch wirklich vorhanden ist, sie es doch nur in ziemlich unerheblichem Maasse ist, und dass sie in keinem Verhältnisse zu den Vortheilen steht, welche ein gleichmässiges Hinunterfahren auf einer schiefen Ebene oder die leicht zu bewerkstelligende Mässigung der Geschwindigkeit beim Einfahren in die Stationen darbietet.

Ein Waggon, der mit Federbuffern versehen ist, stützt sich in einer Curve von kleinem Halbmesser auf den vorderen Waggon, indem er auf die beiden Buffer einen ungleichen Druck, nämlich auf der convexen Seite der Bahn einen etwas kleineren Druck als auf den concaven hervorbringt; er wird seinerseits auf dieselbe Art von dem folgenden Waggon gedrückt.

Vorne, sowie rückwärts ist der von ihm ausgeübte oder empfangene Druck schief gegen seine Längsachse gerichtet, und diese Kräfte verursachen eine transversale Componente, welche den Waggon aus der Bahn abzulenken strebt, davon aber durch die Spurkränze verhindert wird. Der Druck am vorderen Theil ist dem am hinteren Theil nicht genau gleich, weil beim Hinunterfahren jeder Waggon für sich der resultirenden Wirkung von zwei Kräften unterworfen ist, die von zwei entgegengesetzten Seiten auf ihn einwirken, nämlich die Componente der Schwerkraft, welche ihn fortzureissen, und seine eigene Reibung, welche ihn zurückzuhalten sucht.

Man kann die Rechnung dadurch vereinfachen, dass man die einzelnen auf die Buffer wirkenden Kräfte durch ihre Resultirende oder Summe ersetzt, und dabei unterstellt, dass ihre Angriffspunkte sich in dem Durchschnitte der Waggon-Mittellinie befinden, wie es Fig. 5, Taf. I, zeigt, wo diese Durchschnittspunkte ein Vieleck $a a' a'' \dots$ bilden.

Es sei $a a'$ der erste Waggon nach dem Tender, in einem Zuge von 40 Waggonen, jeder zu 10 Tonnen Bruttogewicht, der bei einer Geschwindigkeit von 30 Kilometer per Stunde auf einer 10 Millimeter per Meter geneigten schiefen Ebene, durch die Arbeit des Gegendampfes einer Maschine mit 8 gekuppelten Rädern bei voller Admission gehalten werden soll.

Der von dem ganzen angehängten Zuge auf den Tender ausgeübte Druck wird, wenn man wie beim vorhergehenden Beispiele einen mitt-

leren Widerstand von 3,47 Kilogrammen unterstellt, gleich sein

$$(10 - 3.47) 400 = 2612 \text{ Kilogr.}$$

Diese Ziffer stimmt mit derjenigen überein, welche man durch dynamometrische Versuche unter denselben Bedingungen erhalten würde.

Wenn der Zug in eine Curve, deren Halbmesser R wäre, einbiegt, und wenn l die Länge des Waggons zwischen den Buffern ist, so zerlegt sich der vorne ausgeübte Druck in zwei Kräfte, wovon die eine in der Richtung des Waggons gleich $2612 \times \cos \alpha$, die andere darauf senkrechte gleich $2612 \times \sin \alpha$ ist.

Am anderen Ende des Waggons in a' ist der Druck und Gegen-
druck, welche bei der Berührung entstehen, und welche einander gleich sind, da eine gleichförmige Bewegung vorausgesetzt wird, gleich

$$2612 \text{ Kg. } \sin \alpha - 10 T \times 6,53;$$

6,53 ist nämlich die Differenz $10 - 3,47$ zwischen dem Coefficienten der Schwerkraft und dem des Reibungswiderstandes der Waggons; die auf die Achse des Waggons senkrechte Componente wird gleich sein

$$(2612 \text{ K. } \cos \alpha - 65,3 \text{ K.}) \sin \alpha.$$

Der Waggon wird also von den beiden hier ermittelten Kräften gegen die convexe Seite der Curve gedrückt.

Nimmt man $l = 7^m$ und $R = 350^m$ an, so wird man haben:

$$\sin \alpha = \frac{\frac{1}{2} l}{R} = 0,01 \text{ und } \cos \alpha = \sqrt{1 - (0,01)^2} = 1,00. \text{ Der wirk-}$$

liche Werth dieser zwei Componenten wird also sein:

$2612 \sin \alpha = 26,12$ Kilogramm und $(2612 \cos \alpha - 65,3) \sin \alpha = 25,46$ Kilogr. Die Kraft, welche bestrebt sein wird, diesen ersten Waggon aus dem Geleise zu bringen, wird im Ganzen 51,58 Kilogramm betragen. Diese Grösse ist geringer als die Vergrößerung, welche die Centrifugalkraft durch schwache Variationen in der Geschwindigkeit erfährt.

Die Geschwindigkeit von 30 Kilometern in der Stunde entspricht einer solchen von $V = 8,333$ Meter in einer Secunde; unterstellt man eine Curve von 350 Meter Halbmesser, so wird die Wirkung der Centrifugalkraft auf einen Waggon von 10 Tonnen oder 10000 Kilogrammen Gewicht gleich sein*)

$$\frac{10000 V^2}{g R} = 202,3 \text{ K.}$$

Unterstellt man, dass die Geschwindigkeit von 30 bis zu 36 Kilometern zunehme, also 10 Meter per Secunde betrage, so steigt die

*) $g = 9,8083$.

Centrifugalkraft für denselben Waggon von 10 Tonnen auf 291 Kilogramm. Die vorher berechnete Kraft, die den Waggon zu entgleisen sucht, wird also viel kleiner sein, als die Vergrösserung, welche die Wirkung der Centrifugalkraft durch die Vermehrung der Geschwindigkeit um 6 Kilometer erfährt.

Nehmen wir den Halbmesser der Curve um die Hälfte kleiner an, indem wir wie vorher für die Länge desselben die Entfernung vom Curvenmittelpunkte bis zum Mittelpunkte des Waggons nehmen, so wird $\sin \alpha = 0,02$ und $\cos \alpha = \sqrt{1 - (0,02)^2} = 1$, und wir erhalten für die beiden vom Nachschube des Zuges und von dem durch die Maschine geleisteten Widerstande herrührenden Componenten die Werthe von 52,24 Kilogr. und 50,93 Kilogr.; die Kraft, welche auf Entgleisung hinwirkt, wird also im Ganzen 103,17 K. sein.

Bei der Geschwindigkeit von 30 Kilometern per Stunde wird dagegen die Centrifugalkraft, bei einer Curve von 175 M. Halbmesser, gleich 404,6 Kg. und bei der Geschwindigkeit von 36 Kilometern 582 Kg. Die Kraft, welche auf Entgleisung des Waggons hinwirkt, wäre also noch bedeutend geringer, als die Vermehrung der Centrifugalkraft durch die Vergrösserung der Geschwindigkeit des Zuges um $\frac{1}{5}$. Eine Gleichheit dieser Kräfte würde erst dann eintreten, wenn der Waggon beinahe ganz unbeladen wäre und dann nur noch ein Bruttogewicht von 6 Tonnen hätte.

Um die Wirkung der mehrerwähnten Componentialkräfte ganz zu vernichten, würde es hinreichen, die äussere Schiene noch etwas höher zu legen, als die Berechnung auf Grund der beispielsweise angeführten Geschwindigkeiten ergibt. Aber es muss noch besonders bemerkt werden, dass der Gang mit Gegendampf die besondere Eigenthümlichkeit darbietet, dass er gestattet, die Geschwindigkeit in andauernder Weise ganz gleichförmig zu gestalten, während beim Hinunterfahren mit Hülfe von Bremsen die Geschwindigkeit äusserst unregelmässig ist, so zwar, dass sie um das Doppelte und mehr variiren kann. Die Geschwindigkeits-Verminderung wird nämlich dadurch erreicht, dass der Maschinist mit der Pfeife ein Zeichen gibt, entweder um die Bremsen anzuziehen, oder um sie nachzulassen; ist die Geschwindigkeit zu gross, so gibt der Maschinist mittelst der Pfeife das Bremssignal und die Bremswärter ziehen ihre Bremsen vollständig an; die beabsichtigte Wirkung wird überschritten und die Geschwindigkeit allzusehr vermindert; der Maschinist gibt einen Pfiff um die Bremsen nachzulassen, der Zug erhält wieder seine Beschleunigung und mit diesen immerwährenden Geschwin-

digkeitsänderungen gelangt er am Fusse der schiefen Ebene an, ohne dass ein regelmässiger Gang erzielt werden konnte.

Man kann schätzungsweise annehmen, dass, wenn man behufs Regelung des Ganges sich der Bremsen bedient und eine mittlere Geschwindigkeit von 30 Kilometern erzielen will, man von dieser Abweichungen in plus oder in minus erfährt, welche 10 bis 15 Kilometer erreichen, so dass die Geschwindigkeit in Wirklichkeit zwischen 15 oder 20 bis zu 40 oder 45 Kilometer variirt.

Die Ingenieure, welche Gelegenheit hatten, die beiden Vorgänge zu vergleichen, sind nicht im Zweifel darüber, dass die Anwendung des Gegendampfes beim Hinunterfahren einer schiefen Ebene, selbst wenn die normale Ueberhöhung der äusseren Schiene nicht vermehrt wird, eine höchst schätzenswerthe Sicherheit zur Folge hat.

Ebenso verhält es sich auch beim Anhalten in den Stationen; ist die Wirkung des Gegendampfes mächtig, so geht die Geschwindigkeits-Abnahme des Zuges schneller vor sich, der Maschinist hat die Geschwindigkeit ganz in seiner Hand und kann mit einer geringeren Geschwindigkeit durch die Schienenwechsel durchfahren. Soll der Zug, ohne anzuhalten, auf eine Zweigbahn übergehen, und schreiben die Dienstvorschriften eine Verminderung der Zugsgeschwindigkeit vor, so erreicht der Maschinist das vorgeschriebene Maass der Geschwindigkeit viel sicherer und rascher.

Jedenfalls hat die Anwendung des Gegendampfes, welche sich seit zwei Jahren immer mehr und mehr in Frankreich verbreitet hat, wo bereits 1800 Maschinen mit dem Apparate versehen sind, niemals zu Einwendungen der eben besprochenen Art eine Berechtigung gegeben.

§. 5. Gang mit geschlossenem Regulator.

Die Beobachtung der beachtenswerthen Erscheinung, dass man bei Anwendung des Gegendampfes und alleiniger Einspritzung von Wasser die Reibungsflächen sehr schlüpfrig erhält, hat die Ingenieure der Orléans Eisenbahn zu einer sehr interessanten Anwendung geführt, bezüglich welcher man zwar die Versuche noch nicht beendigt hat, welche aber für die Praxis nützliche Resultate verspricht.

Wenn ein Zug eine schiefe Ebene hinunterfährt, deren Neigung sich der Grenze nähert, bei welcher die beschleunigende Kraft der Schwere bei normaler Geschwindigkeit im Gleichgewicht mit den Widerständen steht, so schliesst der Maschinist seinen Regulator und stellt

den Umsteuerungshebel an das Ende des Vorwärtsganges. — Die Erfahrung lehrt, dass unter diesen Umständen eine bedeutende Abnützung der reibenden Flächen, besonders der Kolbenringe stattfindet, und man bemerkt, dass dabei eine bedeutende Temperaturerhöhung der Cylinder erfolgt.

Ohne in's Detail der sehr complicirten Wirkungen einzugehen, welche die Compression, die Ausdehnung, die Abhebung der Schieber etc. unter diesen Umständen hervorbringen, so ersieht man dennoch, dass während der Periode der vorzeitigen Ausströmung Verbrennungsgase aus dem Rauchkasten in die Cylinder eintreten. Wenn der Regulator die Communication des Kessels mit den Cylindern genau abschliesst, so wird der Dampf, der das Dampfrohr und den Schieberkasten ausfüllt, sehr bald verschwinden, sei es, dass er sich in diesen Räumen condensirt, sei es, dass er sich mit den Gasen vermengt und mit ihnen ausgestossen wird.

Die Kolben und Schieber bewegen sich dann in einer trockenen und heissen Atmosphäre; die Reibungen sind trocken und verursachen eine Erhitzung, welche die zu Ende der Ausströmung durch die Compression erzeugte Wärme noch vermehrt. Während der Admissions- und Expansions-Periode dehnen sich die Gase aus und es bildet sich eine theilweise Luftleere, wenn nicht etwa der Schieber durch den unter ihm in dem Ausströmungscanale herrschenden atmosphärischen Druck abgehoben wird, und wenn sich die Cylinder nicht auf diesem indirecten Wege füllen; diese Ausdehnung, vorausgesetzt, dass sie stattfindet, scheint jedoch nicht zu genügen, um die entwickelte Wärme compensiren zu können.

Man kann diesen Sachverhalt durch Benützung der Einspritzrohre des Gegendampfes verbessern, indem man dadurch die schädliche Beschaffenheit der Atmosphäre, in welcher sich die Kolben bewegen, verändert; es genügt dazu, mittelst dieses Rohres und der dazu gehörigen Hähne Dampf oder Wasser, oder besser noch Wasser und Dampf einzuspritzen.

Mittelst des Dampfes kann man den Rücktritt der Verbrennungsgase verhindern, mittelst des Wassers die reibenden Flächen schlüpfrig machen und die durch die Compression entwickelte Wärme absorbiren. Die Umstände sind nicht mehr dieselben, wie beim Gange mit Gegendampf. Es findet keine Rückgabe der, auf die innere Verdampfung verwendeten Wärme an das Metall der Cylinder statt; spritzt man Wasser allein ein, so sinkt ihre Temperatur schnell auf 100° und wahrscheinlich sogar noch darunter, wenn sich eine theilweise Luftleere während der Admission und der Expansion bildet.

Der wässerige Nebel, welcher aus dem Kessel mit 100° ankommt, bringt viel Wasser und wenig Dampf mit und dieser kann sich condensiren. Die Erfahrung zeigt, dass die Reibungsflächen in ausgezeichneter Weise schlüpfrig erhalten werden; aber es sammelt sich viel Wasser im Cylinder an und wenn die Reinigungshähne nicht ziemlich oft geöffnet würden, so könnten Beschädigungen vorkommen.

Spritzt man nur Dampf ein, so werden die Erwärmungs- und Abnützungs-Erscheinungen zwar sehr merklich vermindert, allein der Dampf wird überhitzt, und die Reibungen gehen ebenfalls trocken vor sich.

Die in der Ausführung begriffenen Versuche werden lehren, was vortheilhafter ist; wahrscheinlich dürfte es eine Einspritzung von Dampf mit einer mässigen Wassermenge sein, wobei der Maschinist die Vorsicht gebrauchen müsste, von Zeit zu Zeit die Reinigungshähne zu öffnen, um das etwa vorhandene überflüssige Wasser auszulassen.

Hätte man diese Details des Maschinendienstes früher mit der nöthigen Aufmerksamkeit untersucht, so würde man wahrscheinlich die Nothwendigkeit erkannt haben, dass man, um Abhilfe zu schaffen, eine gewisse Menge Wassers oder wässerigen Dampfes in das Ausströmungsrohr einleiten müsse und man hätte auf diesem indirecten Wege auf das jetzige System des Gegendampfes kommen können.

Nachtrag.

Die ganz in der letzten Zeit von Herrn Forquenot angestellten Versuche beweisen, dass, wenn beim Hinabfahren auf einem Gefälle der Regulator geschlossen wird, die Steuerung nicht auf den todten Punkt, sondern auf die volle Admission eingestellt werden muss; das diesbezügliche, von den Maschinenführern gewöhnlich beobachtete Verfahren ist durch die mittelst des Watt'schen Indicators erhobenen Diagramme vollständig gerechtfertigt; sowohl bei alleiniger Einspritzung von Wasser, als bei alleiniger Einspritzung von Dampf bleibt der in den Cylindern und Schieberkasten bestehende Druck, abgesehen von einer leichten, vom Indicator angezeigten augenblicklichen Compression, gleich dem der äussern Atmosphäre, und die Schieber bewegen sich ohne Reibung.

Wird Wasser allein eingespritzt, so sammelt es sich in den Cylindern an und veranlasst Stösse, welche die Einspritzung sehr bald zu unterbrechen nöthigen.

Die alleinige Einspritzung von Dampf hingegen gibt sehr gute Resultate, denn die mit Hülfe des Indicators constatirten Wirkungen, zufolge welcher der Druck in den Cylindern und Schieberkasten während der Admission, der Expansion und der Emission gleich dem der äussern Atmosphäre bleibt, scheinen anzuzeigen, dass in Folge der äussern Abkühlung im Innern eine gewisse Condensation entsteht; es ist jedoch möglich, namentlich im Sommer, dass die Atmosphäre, in welcher die reibenden Theile sich bewegen, noch etwas trocken sei, und dass man wohl daran thun dürfte, den Maschinenführern anzuempfehlen, entweder ein für allemal zu Anfang, oder von Zeit zu Zeit während des Ganges, immerhin jedoch mit der nöthigen Vorsicht dem eingespritzten Dampfe einige hundert Gramme Wasser hinzuzufügen.

Die Schieber bewegen sich ohne Druck und werden sogar während der Ausströmungs-Periode leicht abgehoben, so dass der Mechanismus der Dampfvertheilung ohne Anstrengung arbeitet.

Im Ganzen genommen, zeigen die ersten von Herrn Forquenot gemachten Versuche, dass, um (bei geschlossenem Regulator) ein Gefälle

nach abwärts zu befahren, auf welchem die Schwere gerade hinreicht, um dem Zuge die normale Geschwindigkeit zu geben, man die Steuerung in Wirklichkeit auf den vollen Gang nach Vorwärts einstellen und in das Ausströmmungsrohr Dampf einspritzen muss, und zwar wahrscheinlich in dem Maasse von 4 bis 6 Kilogrammen in der Minute, mehr oder weniger, je nach dem Einflusse der Jahreszeit und der Erheblichkeit der durch die äussere Abkühlung hervorgerufenen Condensationen im Innern.

Es muss noch ferner fortzusetzenden Versuchen vorbehalten bleiben, zu ermitteln, ob die schon erhebliche, mit Hülfe der Dampfeinspritzung erlangte Verbesserung, ohne in anderer Beziehung Nachtheile herbeizuführen, durch sehr kleine Wassereinspritzungen, oder durch die Wahl des Punktes, an welchem der Dampf dem Kessel zu entnehmen ist, um dadurch ein geringes Mitführen von Wasser zu begünstigen, noch weiter erhöht werden kann.

Paris, den 25. August 1869.

L. Le Chatelier.

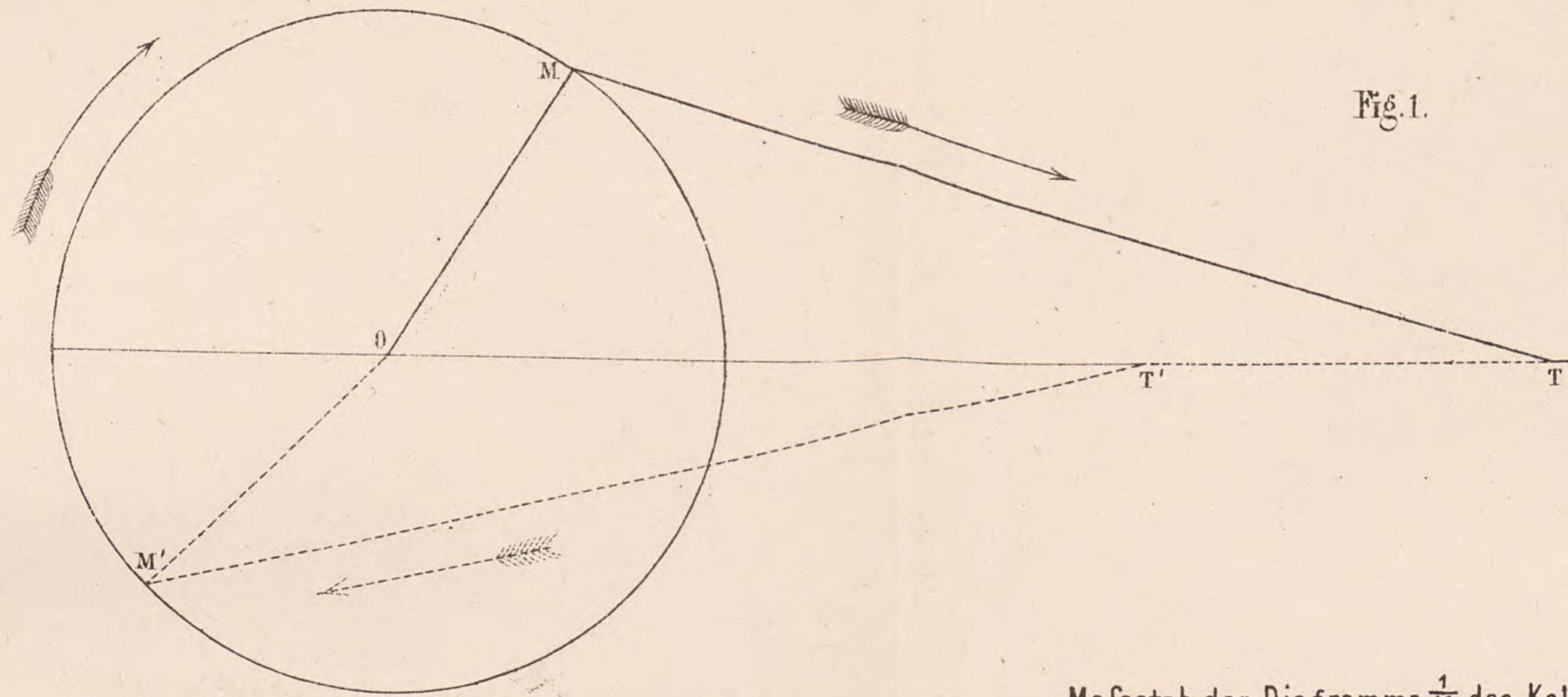


Fig. 1.

Maßstab der Diagramme $\frac{1}{10}$ des Kolbenschubes.

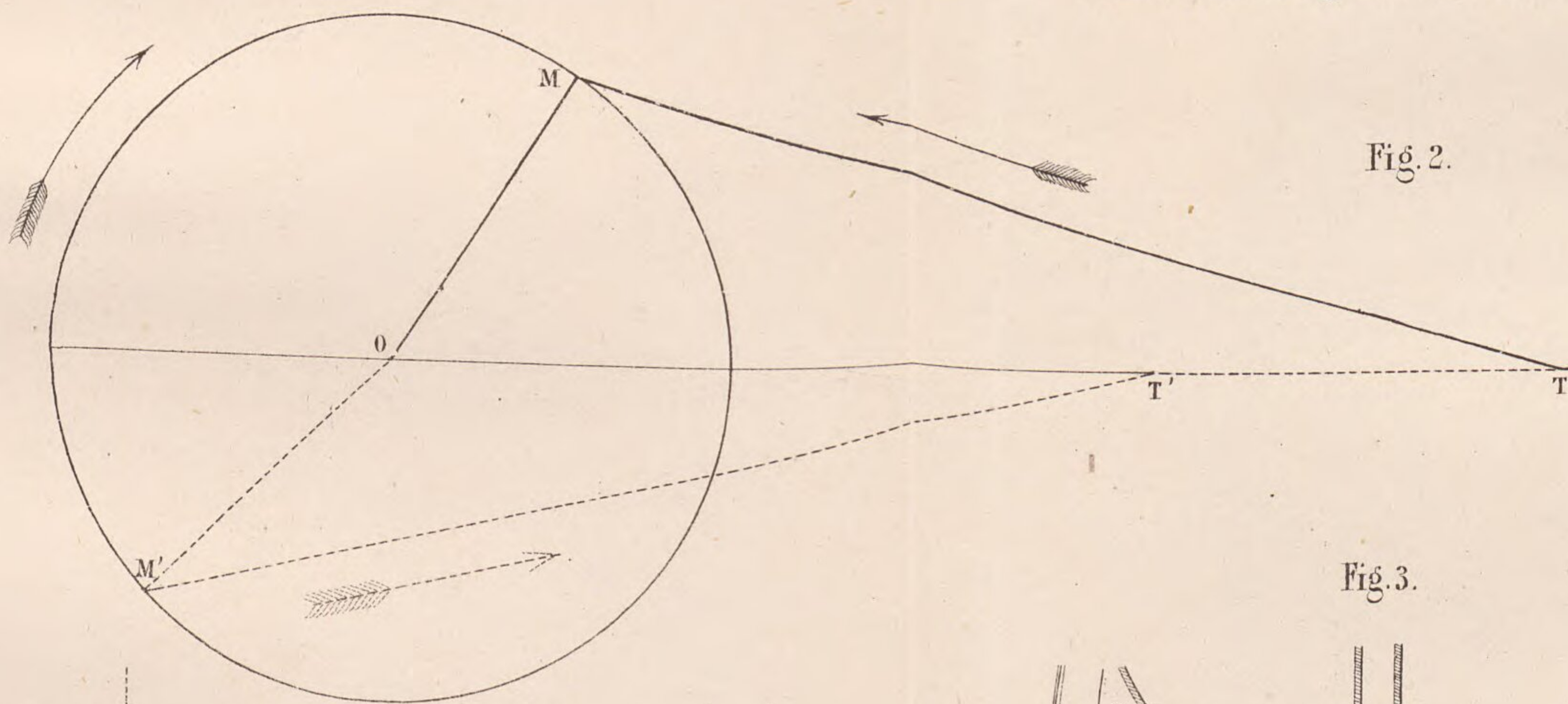


Fig. 2.

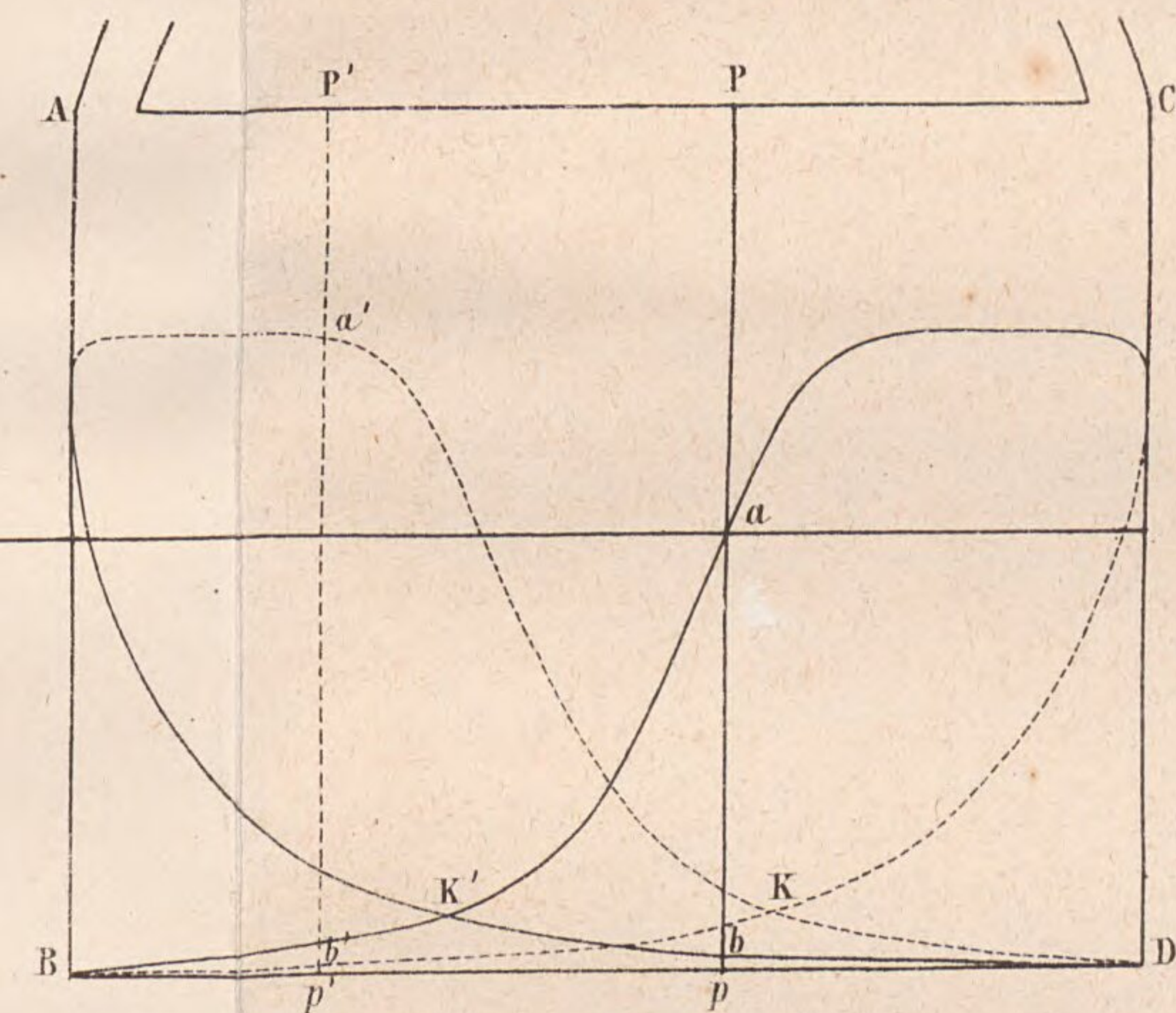
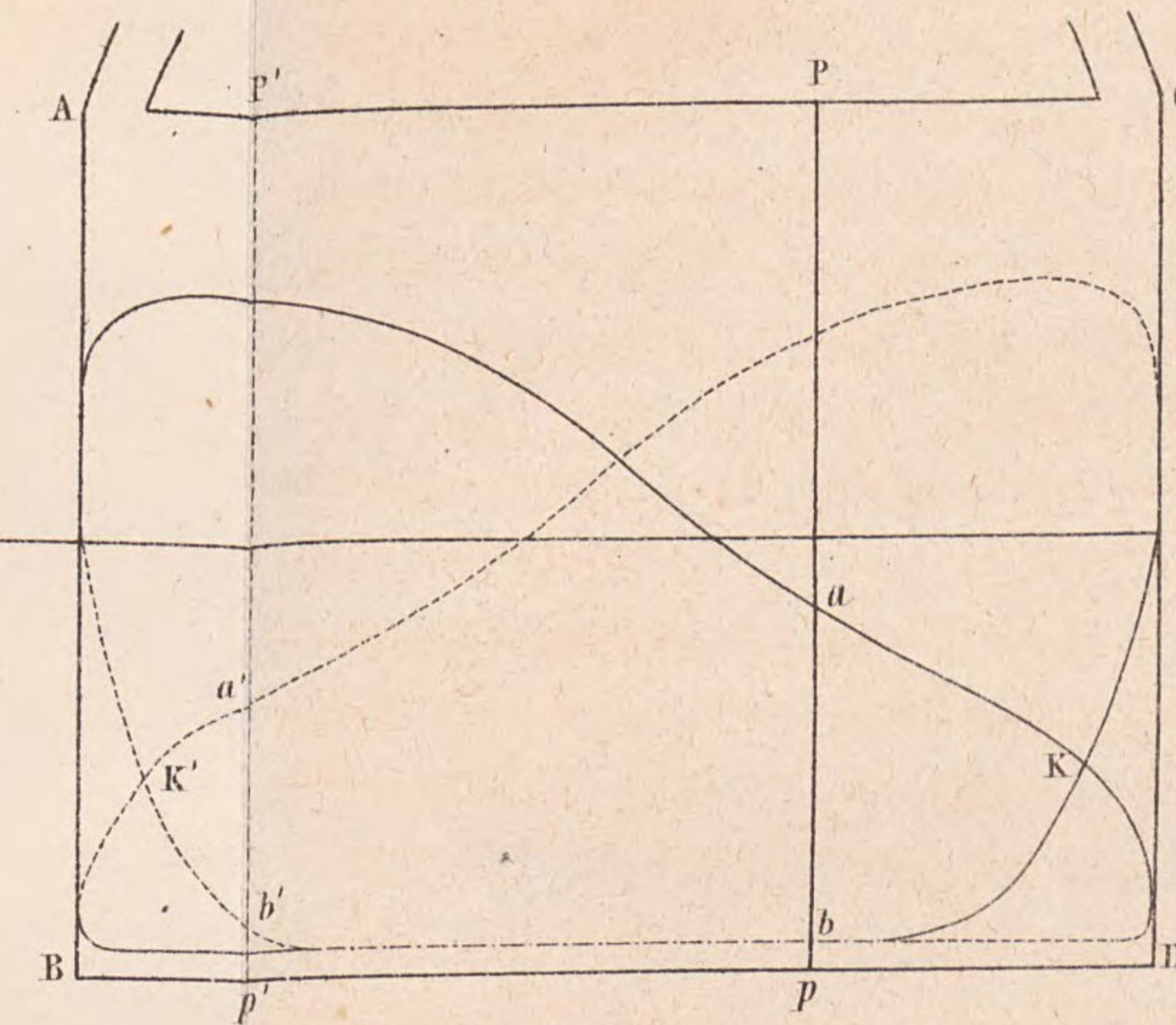


Fig. 5.

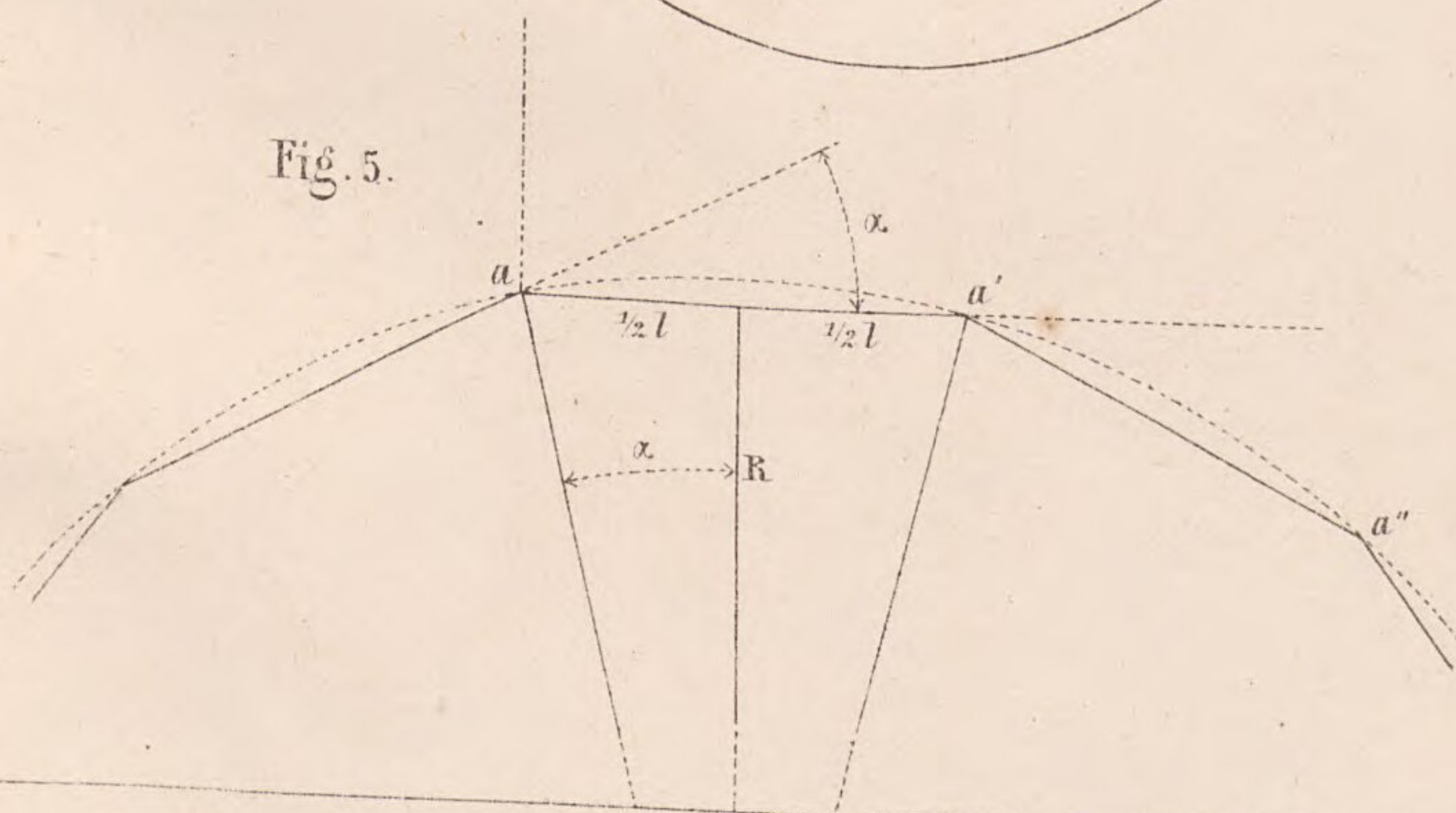


Fig. 3.

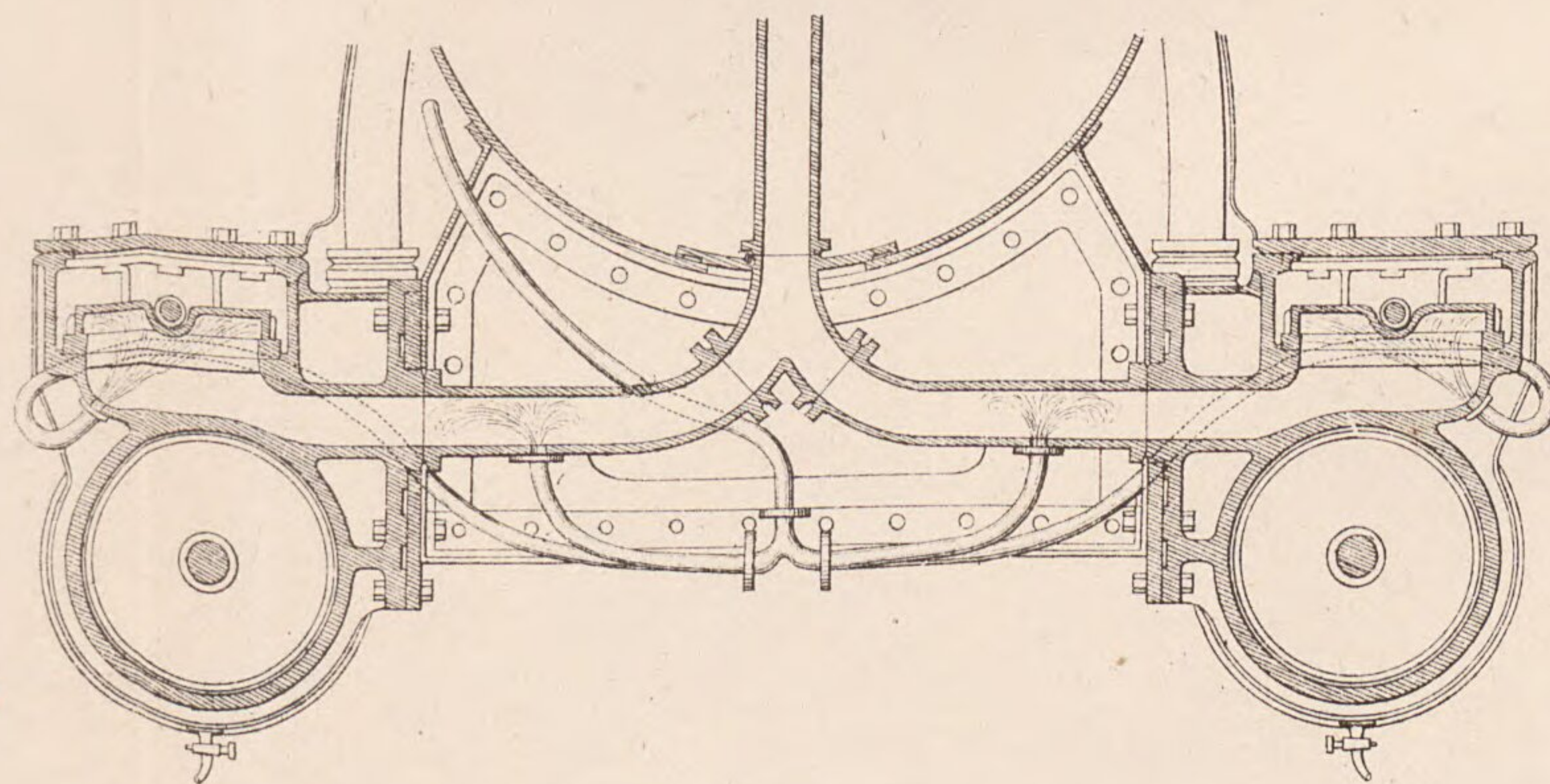
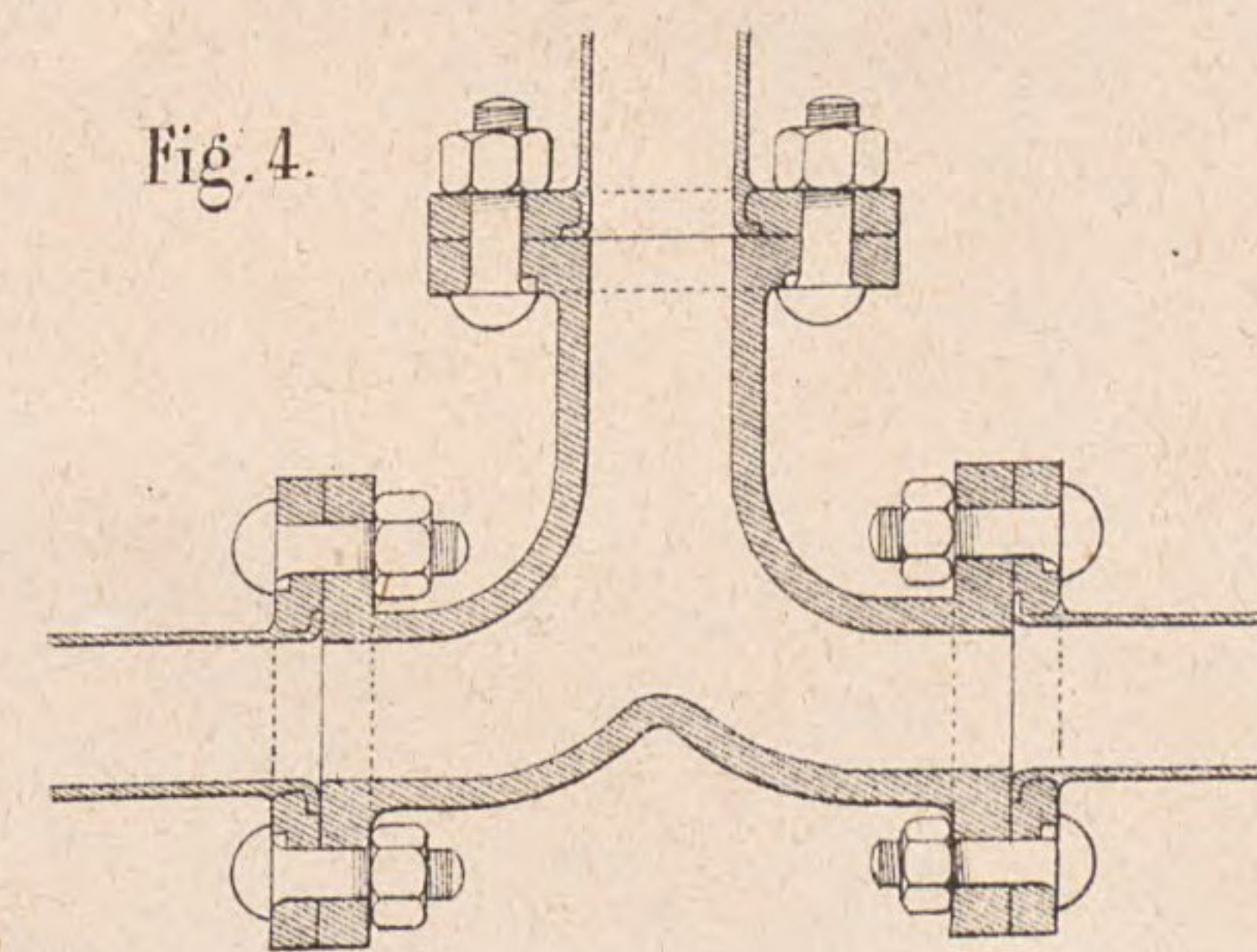
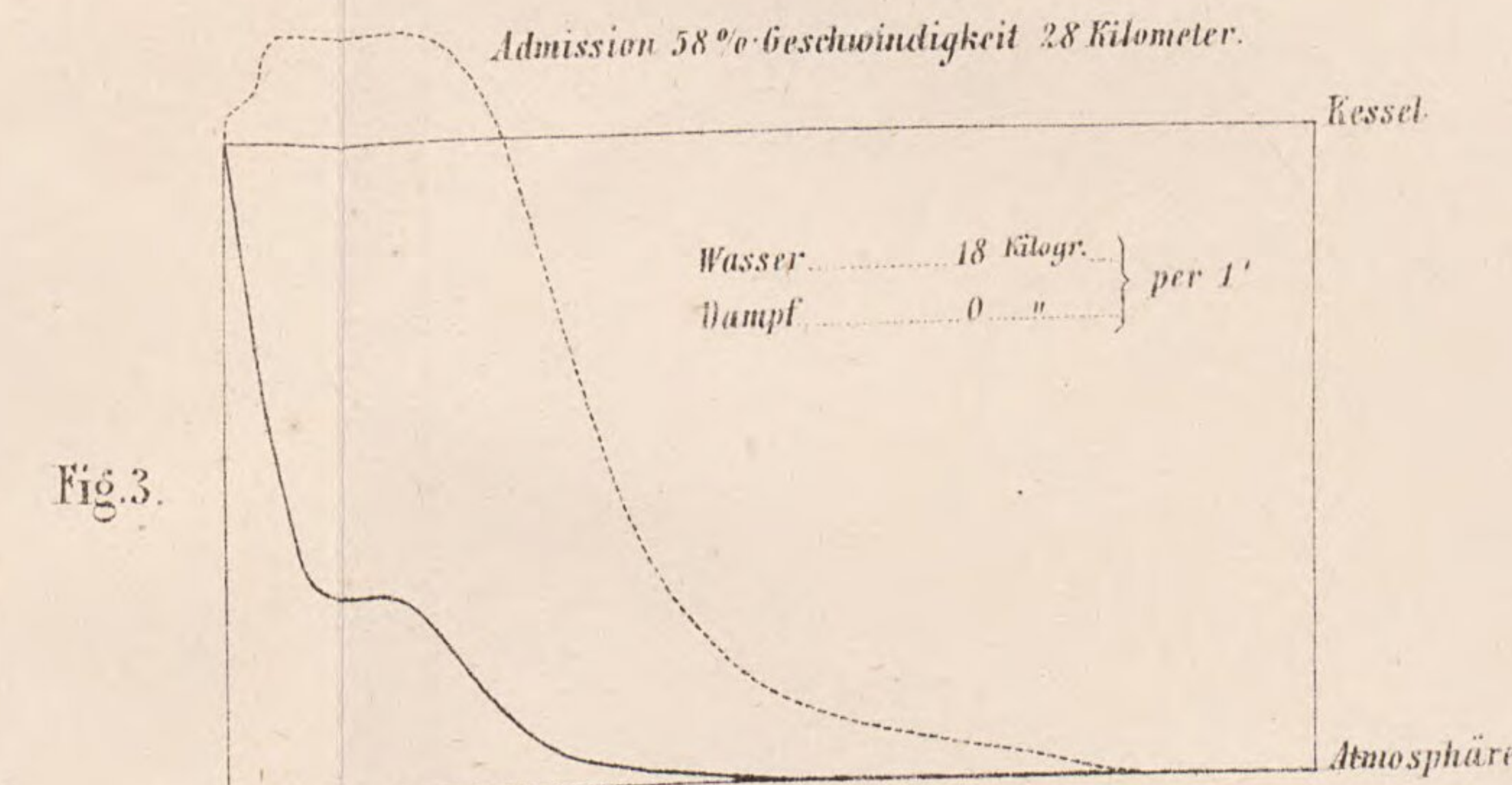
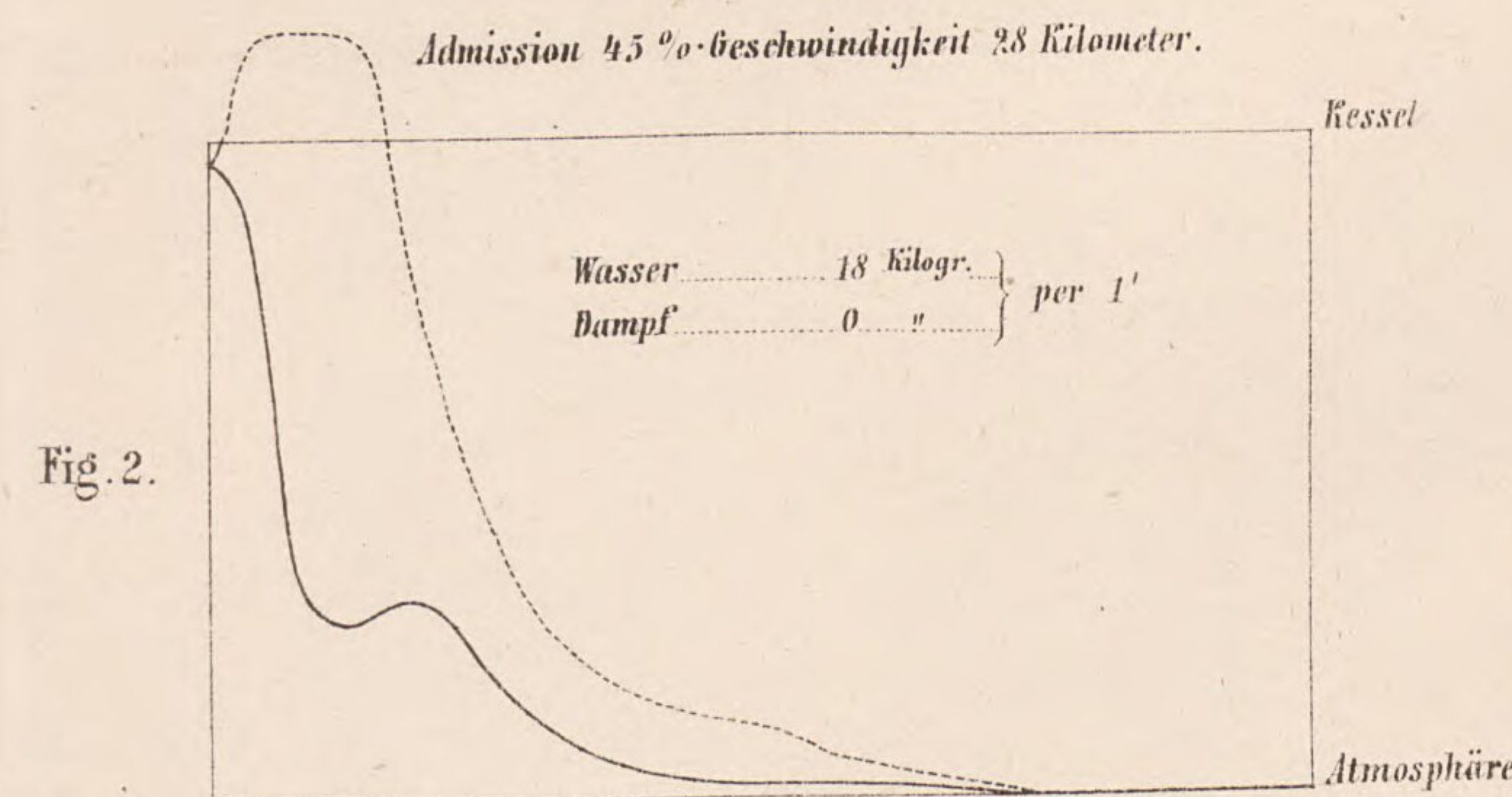
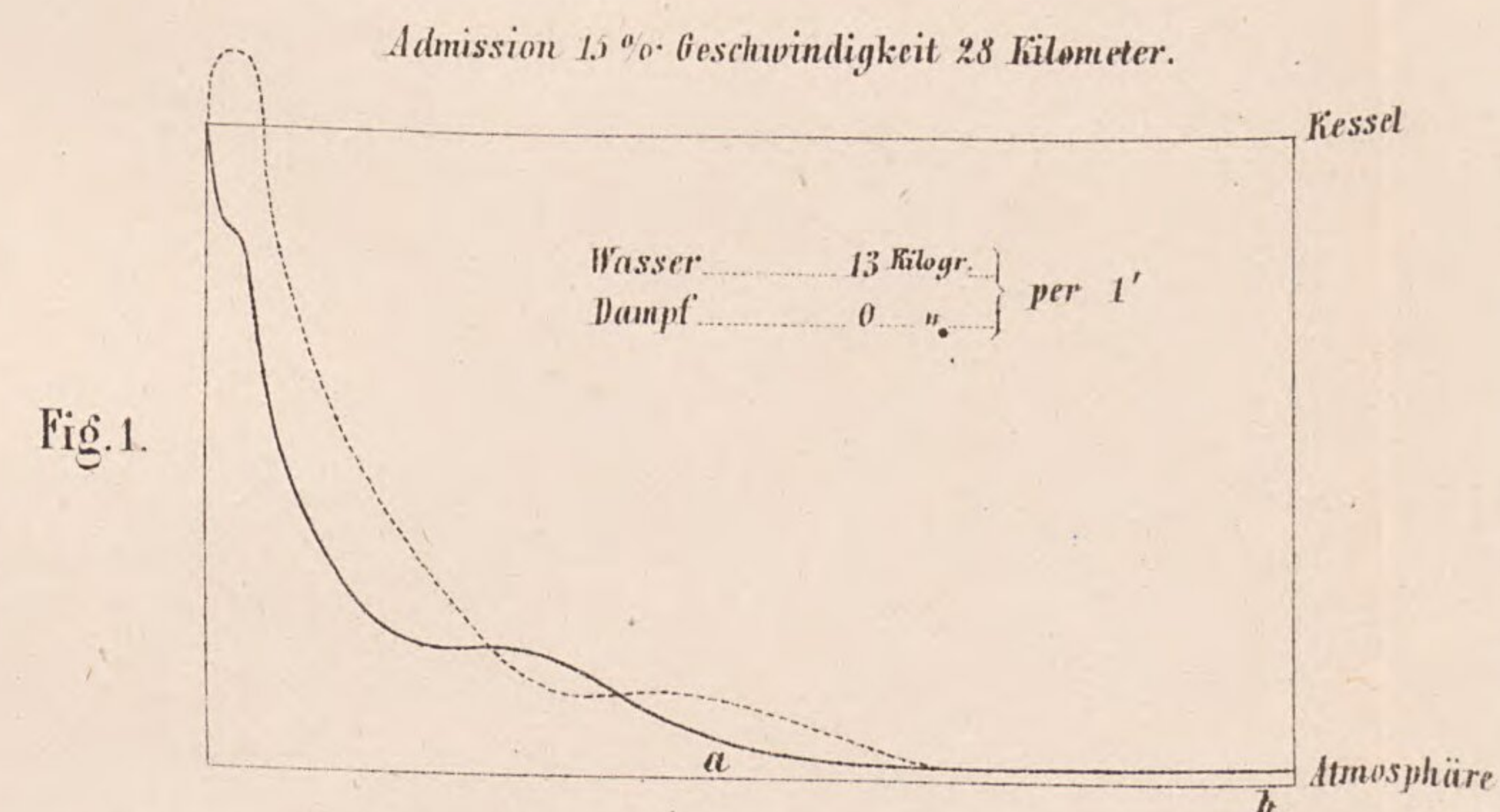
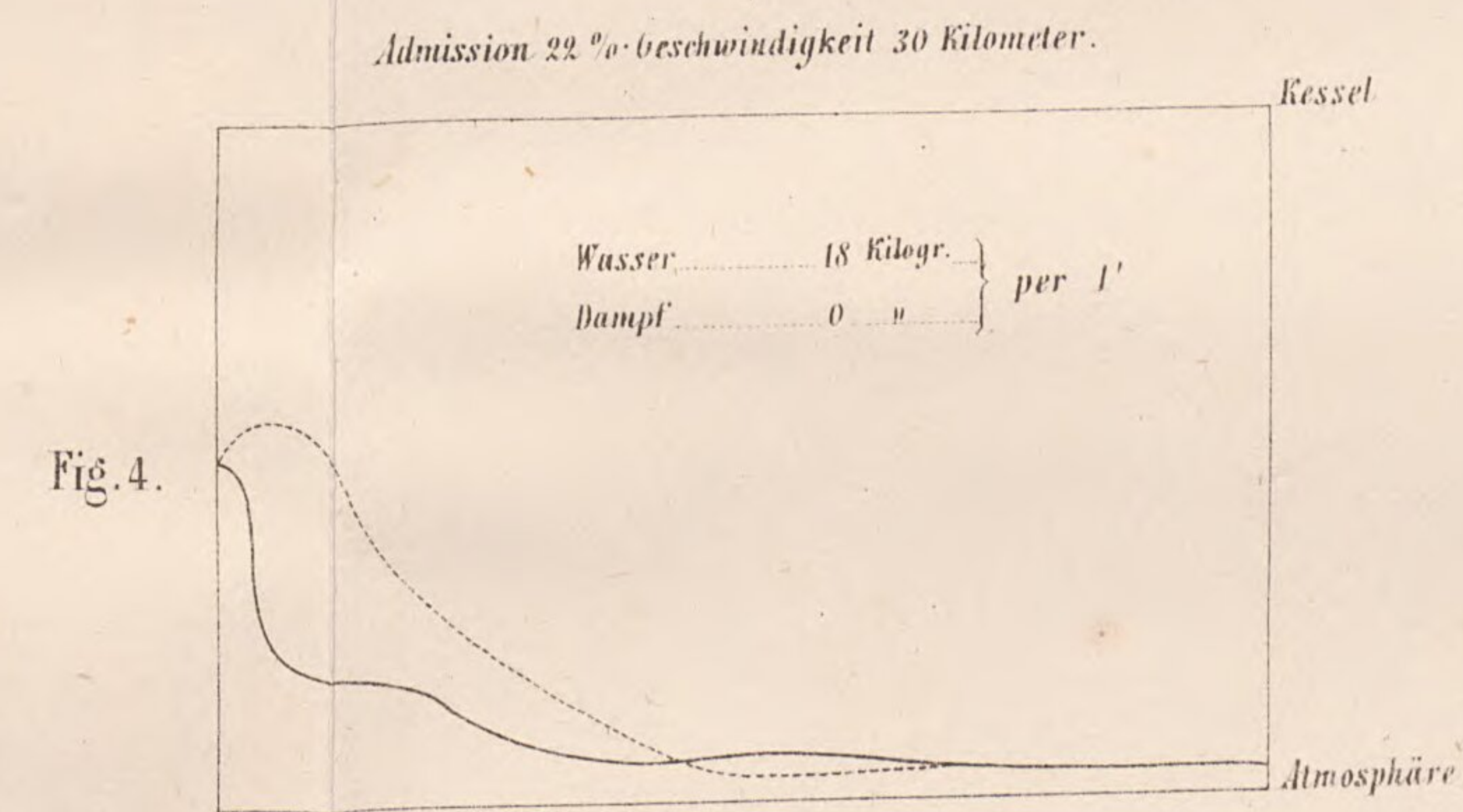
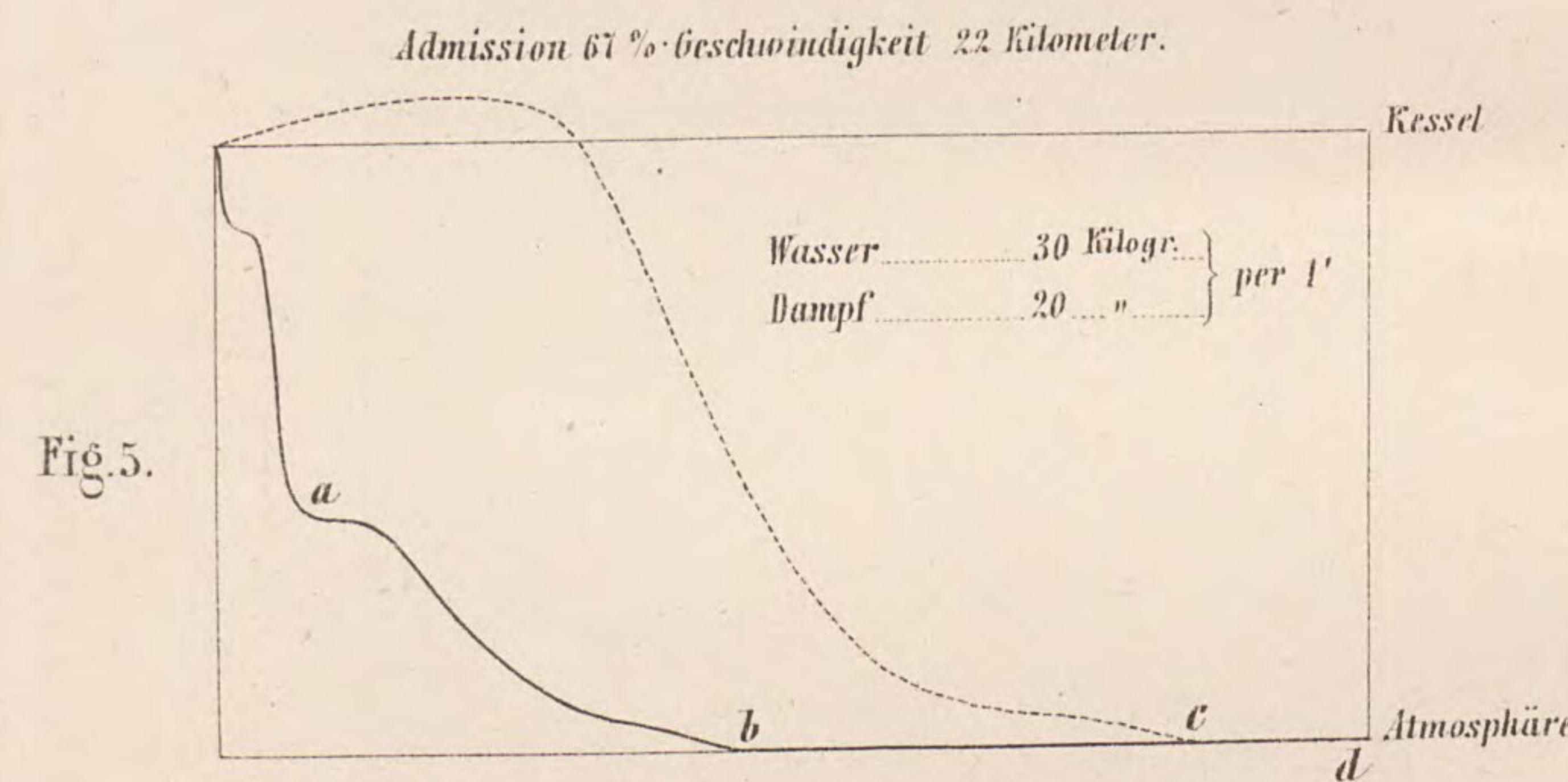
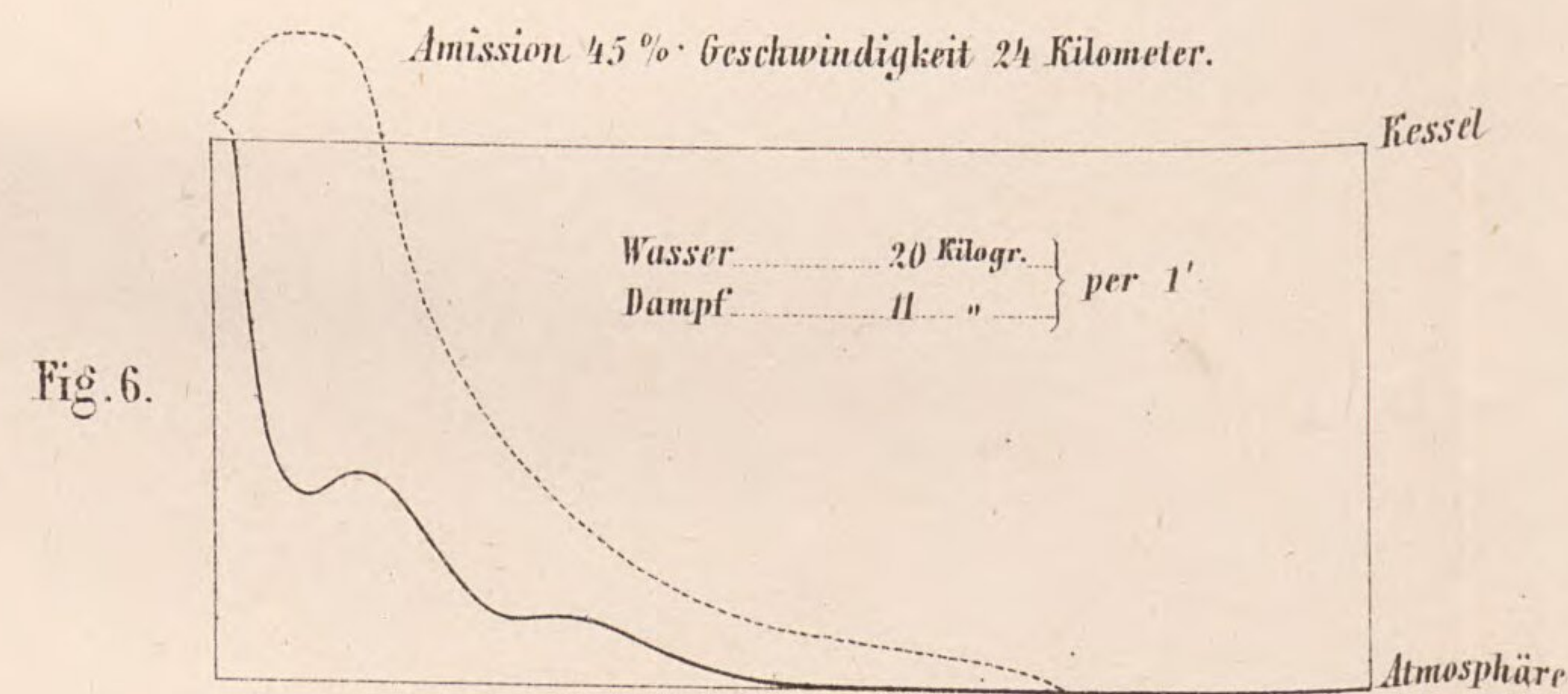
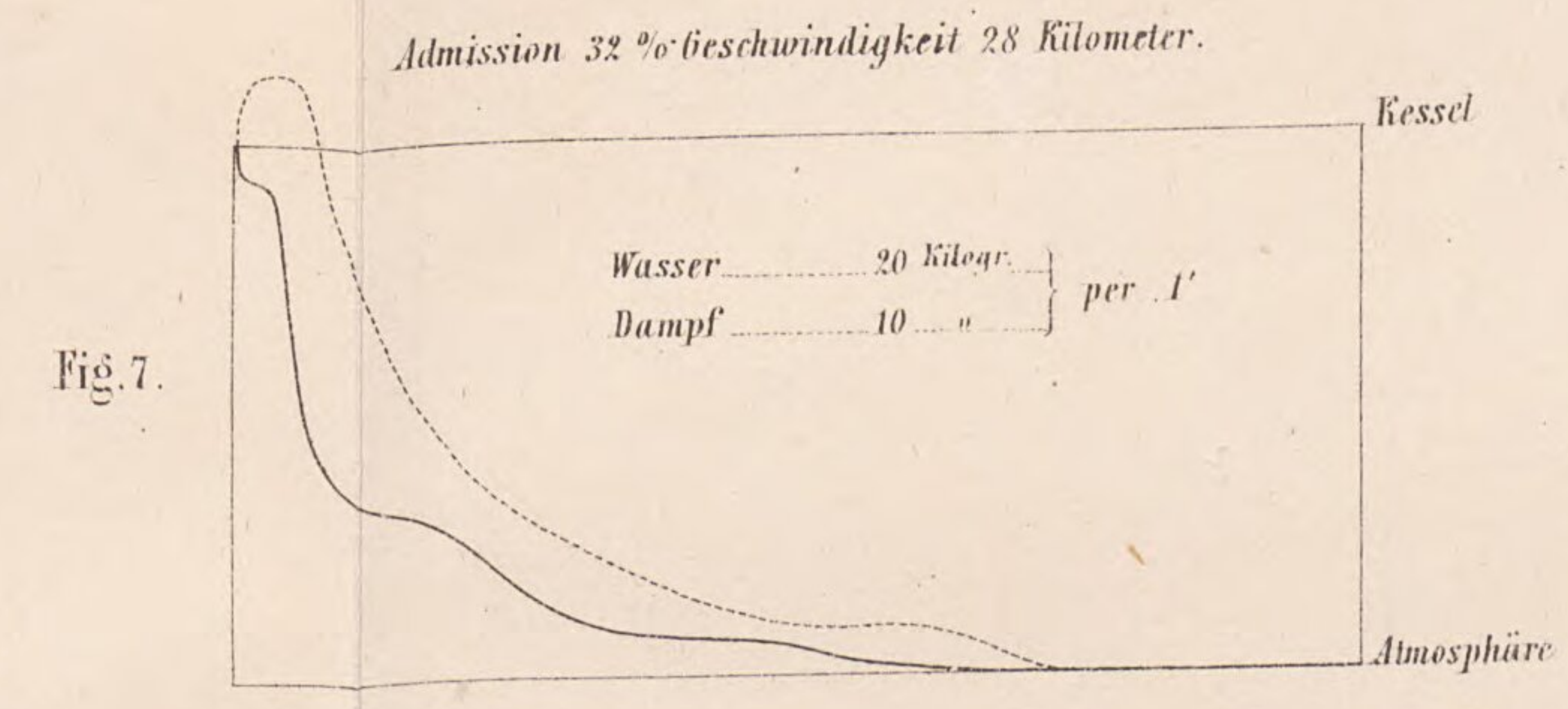
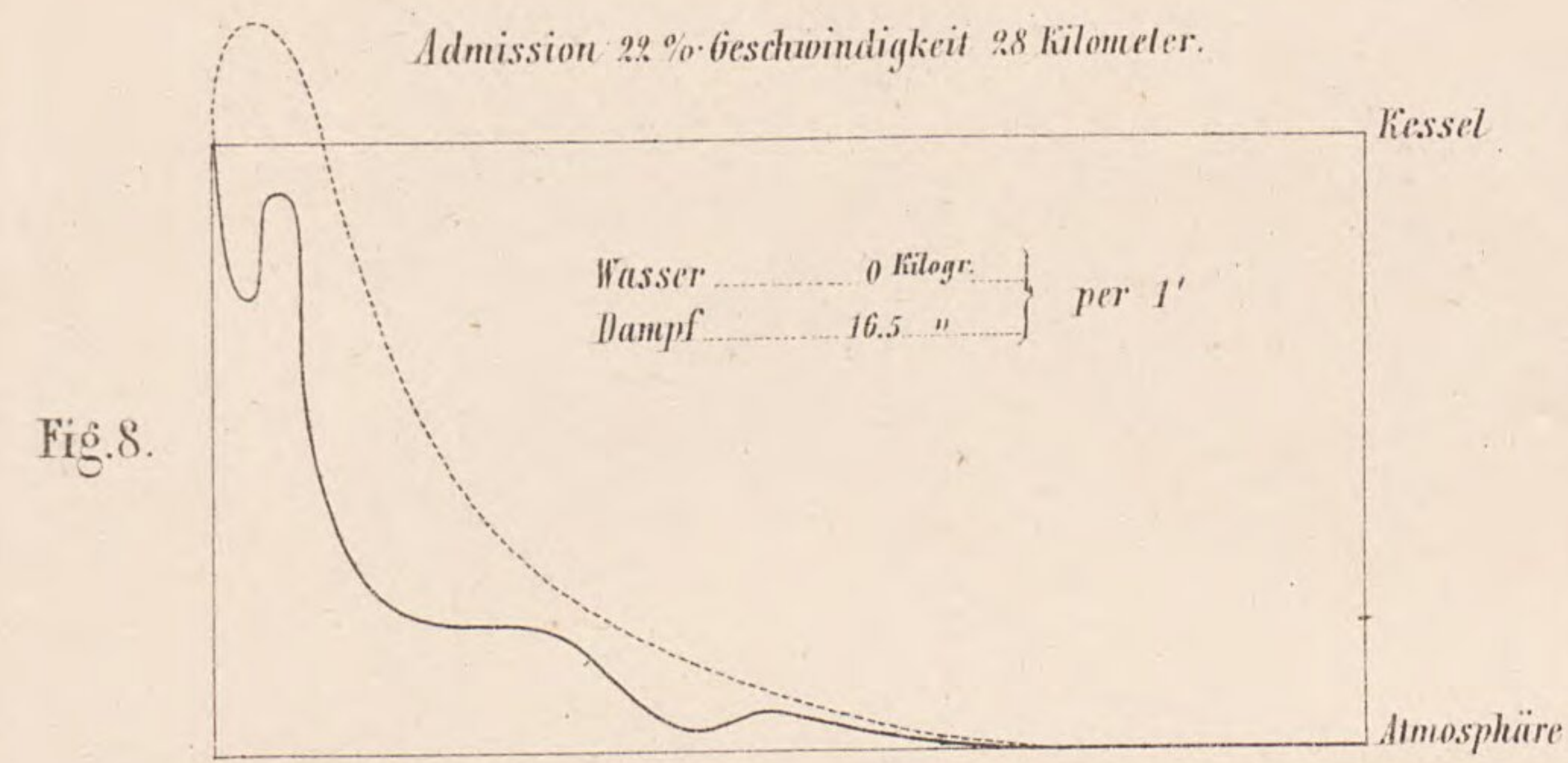
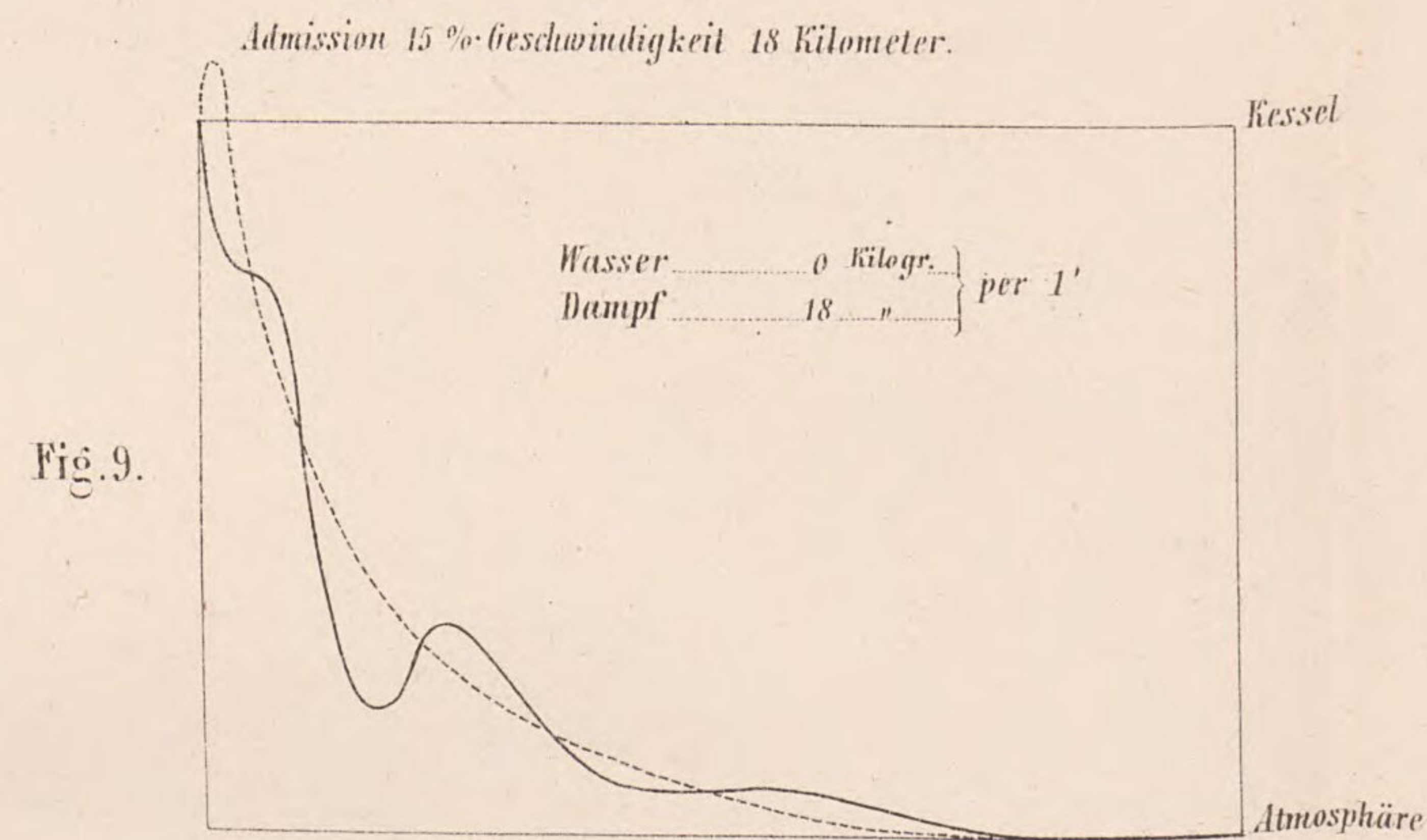


Fig. 4.



Mafsstab der Diagramme $\frac{1}{10}$ des Kolbenschubes.
 Mafsstab des Druckes 6.71 millimeter für 1 Atmosphäre.



Le Chatelier, Louis

Denkschrift über die Anwendung des Gegendampfes bei Locomotiven

Wien 1869

A.hydr. 738

urn:nbn:de:bvb:12-bsb10995127-4